



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Ciencias Agronómicas
Escuela de Postgrado

**EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SOBRE LA POBLACIÓN DE
NEMATODOS EN UN VIÑEDO DE CHILE CENTRAL**

EFFECT OF COVER CROPS ON PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL PROPERTIES
AND ON NEMATODE POPULATION IN A VINEYARD OF CENTRAL CHILE

Actividad formativa equivalente (AFE) para optar al grado
de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

Ingeniera Agrónoma
MARÍA ALEJANDRA VINAGRE DEL PRADO

Director de Tesis
Oscar Seguel S.

Profesores Consejeros
Yasna Tapia F.
Manuel Casanova P.

Santiago, Chile
2021

UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Agronómicas
Escuela de Postgrado

**EFFECTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE PROPIEDADES
FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SOBRE LA POBLACIÓN DE
NEMATODOS EN UN VIÑEDO DE CHILE CENTRAL**

EFFECT OF COVER CROPS ON PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL PROPERTIES
AND ON NEMATODE POPULATION IN A VINEYARD OF CENTRAL CHILE

AFE para optar al grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas

	Calificaciones
DIRECTOR DE TESIS	
Oscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,5
PROFESORES CONSEJEROS	
Yasna Tapia Fernández Ingeniera en Alimentos, Dra.	6,8
Manuel Casanova Pinto Ingeniero Agrónomo, M.Sc.	6,5

Santiago, Chile
2021

AGRADECIMIENTOS

A quien me ayudó en los análisis de laboratorio, en un minuto que con suerte me podía mover...Hugo, infinitas gracias.

A quien me ayudó a ejecutar los tratamientos, muestreos, entre otros, en Santa Rita...José siempre estaré agradecida.

A quien con su buena voluntad me ayudó con los análisis estadísticos... Héctor Gracias

A quien me ha tenido paciencia, y me ayudó para que yo hiciera mi tesis... Oscar, muchas gracias.

A quienes me ayudan con los melliz y la casa, lo que me permite tener un minuto para escribir y pensar.... Lelita y Patito, millón de gracias.

A quien en época de pandemia hacia todo lo posible por que yo escribiera...Mamá, por eso y por más, no hay palabra que pueda usar para agradecerte.

A quienes me han apoyado siempre en todas mis locuras y en época difícil me tendieron una mano con el magíster... Hermana y Lorenzo, gracias, gracias.

A quien me apañó con la locura de un magíster y me alentó a que lo hiciera... Gerardo, gracias por estar a mi lado.

Pero por sobre todo, a quienes sin saber me dan la fuerza para ser más y una mejor persona todos los días.... MIS MELLIZ, Rafael y Gaspar.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Materia orgánica del suelo y cultivos de cobertura	3
Control de nematodos y cultivos de cobertura	4
Características de las familias utilizadas como cultivos cubierta	5
Brassicaceae	5
Fabaceae	6
Poaceae	7
Mezcla de especies	7
Viña Santa Rita	8
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	9
Hipótesis	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
MATERIALES Y MÉTODO	10
Ubicación del estudio	10
Materiales	11
Métodos	12
Tratamientos y diseño experimental en la segunda etapa del estudio	12
Evaluaciones	13
Evaluaciones climáticas	13
Evaluaciones de suelo	13
Análisis nematológico	14
Evaluaciones del viñedo	15
Análisis estadístico	15

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Condiciones climáticas durante el estudio	17
Caracterización inicial del suelo	18
Resultados de suelo dependientes de los tratamientos de la etapa 2 del estudio	18
Densidad aparente	18
Distribución de tamaño de poros	20
Estabilidad de microagregados	23
Estabilidad de macroagregados	25
Resistencia a la penetración	27
Conductividad hidráulica	31
Contenido de agua	32
Contenido de materia orgánica y evaluación nutricional	38
Análisis nematológico	39
Evaluaciones en el viñedo	42
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA	47
APÉNDICES	53

RESUMEN

En el manejo de un viñedo de alta producción es inevitable el uso de maquinaria, lo que a largo plazo genera compactación, con pérdida de materia orgánica del suelo y un aumento en la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Los cultivos de cobertura (CC) se presentan como una alternativa sustentable para prevenir la degradación del suelo, por lo que el objetivo del estudio fue medir los beneficios de diferentes CC sobre las propiedades del suelo, la población de nematodos y el desarrollo de la vid en un viñedo de la zona central de Chile. Se trabajó con seis tratamientos de un total de 10 inicialmente seleccionados. Se dejó como testigo una entre hilera sin siembra y con aplicación de herbicida. Se midieron propiedades físicas y contenido de nutrientes del suelo, además de la población de nematodos y condición de la vid (estado nutricional, parámetros de rendimiento, masa de poda). El mejor establecimiento de CC se logra con especies crucíferas, pero es la vegetación espontánea la que genera los mejores efectos en las propiedades físicas del suelo, con incremento en la porosidad de aireación y la estabilidad de microagregados, menor resistencia mecánica y mayor conductividad hidráulica, junto a *Raphanus sativus*; por su parte, *Festuca ovina* logra el mayor contenido de agua aprovechable. Ninguno de los tratamientos modificó las propiedades químicas y nutricionales del suelo, en tanto el tratamiento con vegetación espontánea disminuyó la incidencia de *Xiphinema* sp. y *Paratylenchus* sp en relación al testigo. La vid no presentó cambios importantes en sus parámetros de rendimiento, y sólo para el producto comercial Trafimax (90% *Festuca arundinacea* y 10% *Lolium perenne*) generó menores masas de racimo y de bayas; por su parte, *Sinapis alba* incrementó la masa de poda en la segunda temporada, dejando abierta la necesidad de continuar estudiando los efectos integrales de los cultivos de cobertura.

Palabras clave: Compactación, materia orgánica del suelo, manejo sustentable, *Vitis vinifera*.

ABSTRACT

The use of machinery is unavoidable in the management of a high production vineyard, which in the long term generates soil compaction, with a loss of organic matter and increased susceptibility to pests and diseases. Cover crops (CC) are presented as a sustainable alternative to prevent soil degradation, therefore, the objective of the study was to measure the benefits of different CCs on soil properties, nematode population, and vine development in a vineyard in central Chile. Six treatments were used out of a total of 10 initially selected. An unseeded inter-row with herbicide application was left as a control. Physical properties and nutrient content of the soil were measured, as well as nematode population and vine condition (nutritional status, yield parameters, pruning mass). The best CC establishment is achieved with cruciferous species, but it is the spontaneous vegetation that generates the best effects on the soil's physical properties, with increased aeration porosity and stability of micro-aggregates, lower mechanical resistance, and higher hydraulic conductivity, together with *Raphanus sativus*. In turn, *Festuca ovina* achieves the highest available water content. None of the treatments modified the chemical and nutritional properties of the soil, while the treatment with spontaneous vegetation decreased the incidence of *Xiphinema* sp. and *Paratylenchus* sp in relation to the control. The vine did not show important changes in its yield parameters, and only the commercial Trafimax mixture (90% *Festuca arundinacea* and 10% *Lolium perenne*) generated lower cluster and berry masses; by other hand, *Sinapis alba* increased the pruning mass in the second season, leaving open the need to continue studying the integral effects of cover crops.

Keywords: Compaction, soil organic matter, sustainable management, *Vitis vinifera*.

INTRODUCCIÓN

Materia orgánica del suelo y cultivos de cobertura

En la mayoría de los suelo, la proporción de materia orgánica (MO) dentro de los componentes sólidos es baja, no así sus efectos en las funciones de estos (Brady y Weil, 2016). El componente orgánico del suelo, que está en constante cambio, ejerce una gran influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Abiven *et al.*, 2009). Algunos componentes de la MO son responsables de la formación y estabilidad de los agregados, en tanto la MO en general contiene grandes cantidades de nutrientes para las plantas y actúa como un almacenaje de entrega lenta, especialmente del nitrógeno (Tisdall y Oades, 1982). Una cubierta orgánica tipo “mulch” aumenta la actividad biológica del suelo, lo que aumenta la cantidad de bioporos y consecuentemente mejora la tasa de infiltración (Jordán *et al.*, 2010). Sin embargo, el no incorporar residuos orgánicos genera un incremento en la densidad aparente y una pérdida de la estabilidad de los agregados (Zhang *et al.*, 2014).

La densidad aparente (D_a) es una propiedad que se relaciona con las características de permeabilidad y aireación del suelo, cuya persistencia en el tiempo en niveles óptimos es reflejo de la estabilidad de los agregados (EA) (Seguel *et al.*, 2003). Suelos que presentan una mayor proporción de espacios con poros tienen una menor D_a que aquellos suelos más compactados y con menor volumen de poros, por lo tanto, cualquier factor que afecte el volumen de poros en el suelo tendrá un efecto en la D_a (Brady y Weil, 2016). En un perfil de suelo, los horizontes más profundos presentan D_a más elevadas, lo que se puede deber al peso de los horizontes superiores, menores contenidos de MO, menor agregación y menor contenido de bioporos (Brunel – Saldias *et al.*, 2016). La D_a sirve como un indicador del grado de compactación que tiene el suelo y su restricción relativa al desarrollo radicular de las plantas; sin embargo, según el tipo de textura serán los valores de D_a ideales. Para horizontes de clase textural arenosa, los valores fluctuarán entre 1,4 y 1,9 $Mg\ m^{-3}$ y para suelos arcillosos entre 0,9 y 1,4 $Mg\ m^{-3}$ (Warrick, 2001).

Por otra parte, la estabilidad de los agregados (EA) evalúa la persistencia de la estructura frente a determinadas fuerzas destructivas, sean estos factores climáticos, de presión por tráfico u otros (Kemper y Rosenau, 1986). La MO es uno de los factores que aumenta la EA por medio del aumento en su cohesión y por una menor velocidad de humectación, previniendo la destrucción por aire atrapado bajo presión al interior del agregado (Chenu *et al.*, 2000).

En especies frutales con el huerto en estado adulto, no siempre es factible hacer aplicaciones de MO en profundidad, ya sea por lo complicado de la labor, como también por el riesgo de daño a las raíces. Aplicaciones de residuos en superficie o “mulch” son efectivos en los primeros centímetros del suelo, por lo que una buena alternativa para aumentar el contenido de MO en profundidad la constituyen los cultivos cubierta o cultivos de cobertura (CC), los que junto con el aporte de residuos en superficie contribuirán a la estructuración a través del

sistema de raíces que se renueva anualmente, esperándose una menor densidad aparente y una mayor estabilidad de agregados (Baginsky *et al.*, 2010).

Se ha demostrado que el uso de CC genera una disminución en la Da del suelo, especialmente en los primeros 10-30 cm, debido a un aumento en la porosidad generada por el desarrollo de las raíces, que son capaces de desplazar partículas, aumentando los macroporos a medida que crecen en longitud y diámetro (Seguel *et al.*, 2013). Como consecuencia del crecimiento en profundidad de raíces pivotantes, los CC también son capaces de romper capas compactadas (Trükmann *et al.*, 2006) y, en el caso de gramíneas, la alta biomasa de las raíces fasciculadas genera un incremento en la estabilidad de macro agregados, principalmente en superficie (Brunel-Saldías *et al.*, 2016).

Adicional a todos los beneficios en las propiedades físicas del suelo, los CC optimizan el ciclo de los nutrientes, favoreciendo su reciclaje mediante la absorción e impidiendo su lixiviación (Sarrantonio, 2007). El N en forma de nitratos es muy soluble y por lo tanto susceptible a lixiviación. La cantidad de nitratos acumulados en la absorción de la raíz y que son contenidos en la biomasa del cultivo de cobertura, pueden llegar a 100-150 kg N ha⁻¹ en cultivos de la familia Poaceae y sobre 200 kg N ha⁻¹ para cultivos de la familia Brassicaceae (Justes *et al.*, 2017).

Los CC también han sido utilizados para favorecer la disponibilidad de algunos micronutrientes. Es el caso del Fe en suelos calcáreos, donde el establecimiento de gramíneas aumenta su disponibilidad en el suelo debido a la exudación radical de fitosideróforos (quelatos naturales) (Baginsky *et al.*, 2010). Estudios realizados en arándanos han resaltado el potencial que existe al intercalar gramíneas como una técnica de gestión sustentable para corregir la clorosis férrica (Michel *et al.*, 2019).

Control de nematodos y cultivos de cobertura

Muchas plagas y patógenos del suelo pueden dañar o destruir por completo las nuevas raíces que se desarrollan en primavera y después de la cosecha de la fruta a finales del verano, entre los que destacan varios géneros de nematodos fitoparásitos. La presencia de nematodos sigue siendo uno de los problemas más importantes que afecta el sistema radicular de las vides, con daños que normalmente se reflejan en una menor producción y en algunos casos la pérdida total de la cosecha (Baginsky *et al.*, 2013). Los nematodos dañan directamente a las raíces, ocasionando deformaciones, a veces agallas y, en general, menor vigor en las plantas. Sin embargo, su mayor importancia radica en que son vectores de importantes nepovirus. Por ejemplo, *Xiphinema index* transmite el "virus de la hoja en abanico" o "grape fan leaf virus" (GFLV), que es el nepovirus de mayor importancia económica en la vid, pudiendo producir pérdidas de un 60% en el rendimiento de los frutos (Taylor y Brown, 1997, citado por Aballay e Insunza, 2002). Se puede reducir gradualmente la población de nematodos o limitar su impacto utilizando cultivos cubiertos específicos, como son las especies de la familia Brassicaceae (Phatak y Diaz-Perez, 2007).

El objetivo del manejo de los nematodos, con miras a su control, es interferir con alguna etapa de su ciclo de vida y de esta forma reducir su reproducción. Los CC pueden afectar de distintas maneras el ciclo de vida de los nematodos, como por ejemplo: a) actuando como un no-huésped y por lo tanto previniendo su reproducción, b) produciendo exudados de raíz que interfieren con la orientación de los nematodos a las raíces del huésped o con la orientación del macho a las hembras, c) a través de la producción de compuestos nematicidas que también pueden ser exudados por las raíces, o bien por las hojas, en cuyo caso el efecto nematicida se manifiesta una vez que son incorporados al suelo (Westerdahl *et al.*, 1998; Aballay e Insunza, 2002).

Los CC se presentan como una alternativa de manejo sustentable, observándose dentro de sus principales beneficios la adición de MO al suelo, mejoramiento de la estructura y penetración de agua en el suelo, disminución de la erosión y conservación de N, así como también los efectos nematicidas en algunas especies de la familia de las brásicas (Bowman *et al.*, 2007).

Características de las familias utilizadas como cultivos cubierta

Brassicaceae

Son utilizadas como CC invernal, debido a que presentan un crecimiento rápido, desarrollan un gran volumen de biomasa (Bowman *et al.*, 2007) y disminuyen la erosión y compactación del suelo, esto último debido a que presentan una raíz principal pivotante, la cual penetra horizontes compactados mejor que otras especies de CC (Trükmann *et al.*, 2006). La raíz se descompone en primavera, dejando macroporos en el suelo, los cuales permiten el flujo de agua y aire y el desarrollo de raíces del cultivo principal en verano (Baginsky *et al.*, 2010).

Por otra parte, las brásicas extraen el exceso de N que fue aplicado en la temporada anterior y que no fue utilizado por el cultivo principal, evitando así las pérdidas por lixiviación; este N quedará disponible para el cultivo principal en primavera, cuando la planta se descomponga (Jacobs, 2012). Adicional a esto, disminuyen la presencia de vegetación espontánea y plagas del suelo, debido a que exudan un compuesto azufrado llamado glucosinolato, que puede ser tóxico para algunas enfermedades y plagas del suelo, como por ejemplo nematodos (Baginsky *et al.*, 2010). Para esto, las especies deben ser cortadas e incorporadas al suelo para maximizar su efecto como fumigante natural, ya que los agentes químicos de efecto fumigante son solo producidos cuando las células de las plantas son destruidas (Jacobs, 2012).

Dentro de esta familia destaca *Raphanus sativus*, cultivo anual de invierno. No tolera agua estancada o deficiencias de N, crece mejor en suelos con pH 6,0 a 7,5 (Jacobs, 2012) y presenta mejor capacidad para extraer excesos de N que *Sinapis alba*. Por otra parte, *S. alba* posee un contenido de glucosinolato mayor que en la mayoría de las denominadas “mostazas” y en comparación a las otras especies del género Brassicas (Bowman *et al.*, 2007).

Fabaceae

Las leguminosas son utilizadas como CC por su fijación de N atmosférico, el cual es utilizado por el siguiente cultivo (Baginsky *et al.*, 2010). Además, reducen o previenen la erosión, al generar un alto aporte de biomasa fácilmente mineralizable e incrementar el contenido de MO del suelo (Bowman *et al.*, 2007). Presentan una relación C:N baja en comparación a las gramíneas, lo que significa que su descomposición y liberación de N y otros nutrientes sea de forma más rápida (Bowman *et al.*, 2007). Dentro de esta familia destacan la arveja (*Pisum sativum*), los tréboles (*Trifolium* sp.) y la haba (*Vicia faba*).

Pisum sativum es un cultivo anual de invierno que se adapta a un amplio rango de suelos, pero es sensible a salinidad y suelos con pH muy ácido. Es utilizado en rotación de cultivos y como CC debido a que rompe los ciclos de plagas y enfermedades, aporta N al suelo, mejora la actividad y diversidad microbiana, mejora la estructura del suelo y aumenta la retención de agua (Pavek, 2012). Además, produce gran cantidad de biomasa, la cual se descompone rápidamente debido a la baja relación C:N (Faiguenbaum, 2003).

Trifolium fragiferum (trébol frutilla) es un cultivo perenne, resistente a suelos salinos, húmedos y alcalinos. Se adapta a un amplio rango de suelos y tolera pH desde 5,3 a 8,2, siendo normal su utilización como CC en viñedos; además, debido a que los estolones tienen una respuesta trópica que hace que las puntas se eleven por encima del agua, se desarrolla bien en suelos inundados (St. John *et al.*, 2010).

Trifolium incarnatum (trébol encarnado) es de tipo anual, requiere suelos bien drenados, fértiles, de clase textural franca, aunque se adapta a suelos arenosos y arcillosos, con moderada acidez (pH 5,5 a 7,0). Presenta flores que producen abundante néctar y polen, lo que atrae a las abejas e insectos benéficos, además es de rápido crecimiento, por lo que es usado para el control de la erosión y estabilización de suelos (Young-Mathews, 2013).

Trifolium subterraneum (trébol subterráneo) es una especie de bajo crecimiento, de auto resiembra y alta contribución de N. Se desarrolla en suelos de baja a moderada fertilidad y pH entre 5,5 a 7,5 (Bowman *et al.*, 2007). Si bien su potencial de producción de materia seca no es tan alto, presenta la ventaja de su auto resiembra, lo que asegura su persistencia en ambientes mediterráneos de veranos secos.

Finalmente, *Vicia faba* (haba) es una especie anual que se adapta muy bien a climas frescos, siendo una planta típica de crecimiento invernal. Presenta un crecimiento de raíces del tipo pivotante, vigoroso y profundizador, por lo cual necesita suelos profundos que permitan una buena retención de agua (Baginsky *et al.*, 2010). Es una de las leguminosas con mayores requerimientos hídricos, a su vez el suelo debe presentar un buen drenaje y una densidad aparente de 1,2 a 1,35 Mg m⁻³ (Bianco, 1990, citado por Baginsky *et al.*, 2010). El pH óptimo para su desarrollo fluctúa entre 7 y 8.

Poaceae

Las plantas de esta familia son utilizadas como CC para agotar los excesos de nutrientes dejados en el suelo y que no fueron utilizados por el cultivo principal (Baginsky *et al.*, 2010). Adicional a esto, el sistema radical de estas especies favorece la estructuración del suelo, posibilitando la formación de macroporos (Bowman *et al.*, 2007). Dada su adaptación a condiciones de secano, destacan en esta familia la avena (*Avena strigosa*), festuca (*Festuca ovina*) y el centeno (*Secale cereale*).

Avena strigosa es una especie anual de invierno que se adapta a un amplio rango de suelos, incluso con baja fertilidad, siendo tolerante a la sequía. Dependiendo de su estado fenológico, no tolera temperaturas bajo -7°C (Dial, 2014). Utilizada como CC, ya sea sola o con otras especies, se ha encontrado que presenta una mayor concentración de N y menor relación C:N que otros cereales (Dial, 2014); además presenta efectos alelopáticos que inhiben la germinación de algunas especies de vegetación espontánea o malezas, así como también inhiben algunas especies de nematodos (Bowman *et al.*, 2007).

Festuca ovina es una especie perenne de invierno, que se adapta a una amplia variedad de suelos y además presenta tolerancia al frío y a la sequía (Ogle *et al.*, 2010). Uno de sus principales usos es como cubierta vegetal, ya que es ideal para la estabilización de suelos debido a su denso sistema radicular (Ingels *et al.*, 1998).

Secale cereale es una especie anual de invierno que crece en una gran variedad de climas y suelos, pero se adaptan mejor a suelos arcillosos (Faiguenbaum, 2003). Normalmente es sembrado en otoño para control de erosión. Como CC extrae N que no fue utilizado por el cultivo principal, reduce la compactación y disminuye la presencia de vegetación espontánea al producir una alta cantidad de biomasa, así como también por efecto alelopático (Casey, 2012).

Mezcla de especies

***Avena sativa* (50%) y *Vicia atropurpurea* (50%):** La *A. sativa* (familia Poaceae), posee una alta producción de biomasa que contribuye a controlar las malezas. Extrae el exceso de nutrientes, presenta un sistema radicular fibroso que previene la erosión en invierno (Scow y Werner, 1998). De crecimiento rápido, además compite con las malezas por su efecto alelopático presente en las raíces (Bowman *et al.*, 2007). Se siembra en mezcla con *Vicia atropurpurea* (familia Fabaceae), la cual es utilizada por su fijación de N atmosférico (Baginsky *et al.*, 2010); además, reduce los riesgos de erosión, genera un alto aporte de biomasa fácilmente mineralizable e incrementa el contenido de MO del suelo (Bowman *et al.*, 2007).

Las mezclas de leguminosas con gramíneas se complementan. Aun cuando ambas familias absorben los excesos de N del suelo, las gramíneas son más eficientes, por lo que las leguminosas derivan más N producto de la fijación simbiótica con *Rhizobium*.

Trafimax (*Festuca arundinacea* (90%) y *Lolium perenne* (10%): La *F. arundinacea* es una especie perenne, de la familia Poaceae, de crecimiento rápido, que se usa como CC para disminuir el vigor en el viñedo, ya que compite fuertemente por el agua y nutrientes, además es resistente a la sequía y al exceso de humedad en invierno, adaptándose bien a zonas anegadas (Ingels *et al.*, 1998). Se mezcla con *L. perenne*, ya que esta especie presenta un crecimiento más rápido que la festuca y se adapta bien a suelos pesados, pero no resiste períodos extensos de sequía (Ingels *et al.*, 1998). Se siembra un 90% de *F. arundinacea*, ya que es la especie que se espera que predomine.

El uso de mezclas de diferentes especies puede permitir que una especie prospere en sectores donde otra puede ser más débil, o presente un crecimiento más lento (mezcla Festuca-Lolium) o bien como es el caso de la mezcla de leguminosas con gramíneas, estas se complementen mutuamente. El crecimiento más vigoroso de alguna de las especies puede reducir la incidencia de malezas, como también atraer una mayor diversidad de artrópodos beneficiosos que podrían ayudar en el manejo de plagas (Ingels *et al.*, 1998).

Viña Santa Rita

Viña Santa Rita, localizada en Alto Jahuel, Buin, durante años ha trabajado con el objetivo de producir uvas de calidad y con rendimientos esperados para cada zona y variedad. Los viñedos plantados en los años 90 hoy se encuentran afectados por hongos de la madera y virus, con baja productividad y en algunos casos con calidad deficiente. Ante este diagnóstico, la viña se encuentra en la búsqueda de mejorar los manejos relacionados al estrés hídrico, disminución de la compactación de suelo, control de nematodos y margarodes, así como también una mejora en la calidad de agua usada para riego. Todas estas acciones están asociadas a una renovación de los viñedos con materiales clonales y portainjertos libres de virus y hongos de la madera. Con esto se espera mejorar los rendimientos desde 3-4 Mg ha⁻¹ a 9-10 Mg ha⁻¹.

Los CC son para la viña una herramienta que les permite competir por agua en las entrehileras, bajar la presión de la vegetación espontánea, mejorar la infiltración del suelo, disminuir la compactación, mejorar los niveles de MO e incorporar biodiversidad de especies en el monocultivo de las vides. La superficie trabajada hoy con CC llega a 200 ha, con rotaciones de 2 años.

El campo ubicado en Alto Jahuel está principalmente orientado a la producción de variedades tintas como Cabernet Sauvignon, uvas que son destinadas a vinos de categorías reservas, grandes reservas e íconos. En busca de mantener rendimientos y calidad de uva en el tiempo, resulta fundamental estudiar en detalle el efecto de las coberturas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, además del posible efecto sobre el control de nematodos.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Dado su sistema radical pivotante, con crecimiento en profundidad y generación de metabolitos nematotóxicos, los cultivos cubiertos basados en especies *Brassicaceas* en viñas, serán más efectivas en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y el control de nematodos, que las basadas en especies Poáceas y Fabáceas.

Objetivo general

Evaluar los efectos de distintos cultivos de cobertura, asociados o no, sobre la población de nematodos y las propiedades físicas y químicas de un suelo cultivado con *vid vinífera*, en la Región Metropolitana.

Objetivos específicos

- Evaluar el establecimiento de las distintas especies de cultivos de cobertura en función de las condiciones ambientales y su competencia con malezas.
- Evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo bajo la acción de las especies seleccionadas como cultivos de cobertura.
- Evaluar los efectos de algunas especies de cultivos de cobertura en la población y desarrollo de nematodos.

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la Viña Santa Rita, Alto Jahuel, Comuna de Buin, Región Metropolitana ($33^{\circ}44'LS$; $70^{\circ}40'LO$), en el cuartel Rozas (Figura 1) de 3,64ha, durante los años 2017 a 2019.

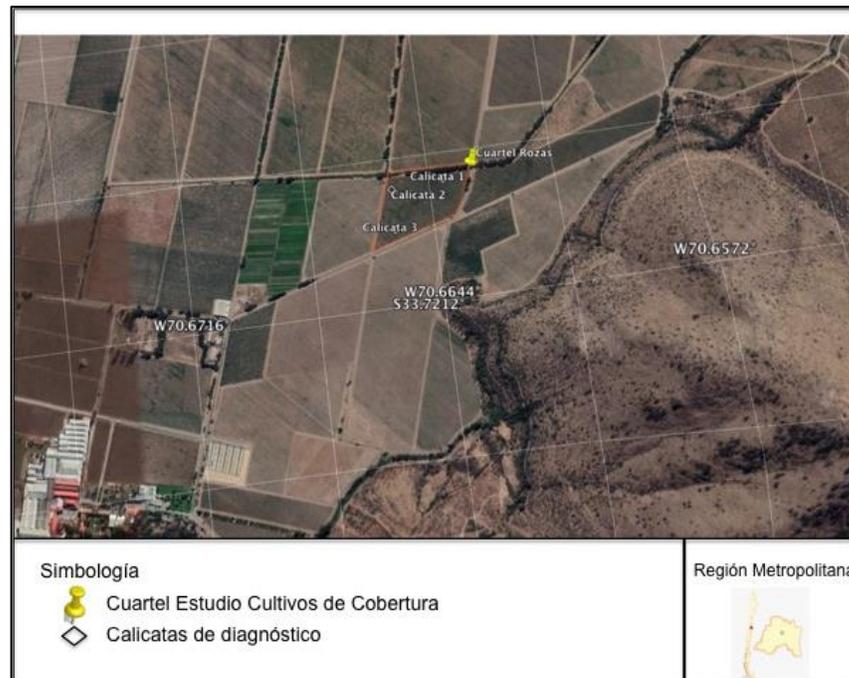


Figura 1. Ubicación cuartel de ensayo, Viña Santa Rita, Alto Jahuel.

Si bien CIREN (1996) mapea el área indicando la presencia de dos Series de suelo, Santiago (Fase STG-1) y Linderos (Fase LIN-2), una prospección preliminar del sitio de estudio ($n=3$, Figura 1) permitió definir la presencia solo de suelos de la Serie Linderos, derivada del abanico aluvial del río Maipo, francosos, moderadamente alcalinos, moderadamente profundos a profundos, planos y bien drenados.

El clima se clasifica como templado cálido, con lluvias invernales, con una estación seca prolongada, de 7 a 8 meses, amplitud térmica anual superior a $10^{\circ}C$, precipitaciones invernales de 366 mm, concentradas entre mayo y septiembre. La temperatura media anual es de $14^{\circ}C$, siendo el mes más cálido enero, con temperaturas máximas promedio de $29^{\circ}C$, y el mes más frío julio, con mínimas promedio de $3,3^{\circ}C$ (Uribe *et al.*, 2012). La precipitación acumulada el año 2017 fue de 253,4 mm y el 2018 de 145,8 mm, con una evapotranspiración acumulada durante el 2017 de 939,6 mm y el año 2018 de 1.007,2 mm según la estación meteorológica ubicada en Los Tilos, Buin (agromet.inia.cl).

Los análisis de propiedades físicas de suelo se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ingeniería y Suelos de la Universidad de Chile. Los análisis de fertilidad y nematodos se realizaron en laboratorios externos, salvo el último año, en que se realizó un análisis de nematodos en el Laboratorio de Nematología de la Universidad de Chile.

Materiales

El ensayo se realizó en las entre hileras del cuartel Rozas (Figura 1), el cual posee un cultivo de *vid vinífera* variedad Cabernet Sauvignon C46 Franco, sistema de conducción en espaldera, plantada el año 2015, en un marco de plantación de 2,0 m por 1,2 m, el cual cuenta con riego por goteo de línea simple y emisores de 2 L h⁻¹ separados a 0,5 m sobre la hilera. En junio de 2017 se sembraron en total 10 especies y 2 mezclas (Cuadro 1), cada una en cuadruplicado en dos hileras continuas, dejando una sin sembrar para que no exista interferencia entre una especie y otra. En este caso, el año 2017 es el primer año de siembra de CC, buscando cumplir con el objetivo específico 1, de manera de seleccionar para una segunda etapa los cultivos que mejor se establecen/adaptan a las condiciones del campo.

Cuadro 1. Listado de cover crops sembrados en el cuartel Rozas para el logro del objetivo 1.

Nombre científico	Nombre común	Dosis de siembra (kg ha ⁻¹)	Objetivos	Incorporación
50% <i>Avena sativa</i> + 50% <i>Vicia atropurpurea</i>	Mezcla avena-vicia	130	↑ contenido de MO en el suelo, competencia vegetación espontánea	Sí
90% <i>Festuca arundinacea</i> + 10% <i>Lolium perenne</i>	Trafimax	150	Competencia por agua (desvigorizar viñedo), competencia vegetación espontánea	No
<i>Trifolium incarnatum</i>	Trébol encarnado	25	Mejorar niveles de N	No
<i>Trifolium subterraneum</i>	Trébol subterráneo	25	Mejorar niveles de N	No
<i>Trifolium fragiferum</i>	Trébol frutilla	25	Mejorar niveles de N	No
<i>Vicia faba</i>	Haba	120	Mejorar niveles de N	Sí
<i>Pisum sativum</i>	Arveja	120	Mejorar niveles de N	Sí
<i>Raphanus sativus</i>	Rábano	25	↓ compactación y nematodos	Sí
<i>Sinapis alba</i>	Mostaza	20	↓ compactación, nematodos y competencia con vegetación espontánea	Sí
<i>Secale cereale</i>	Centeno	120	↓ compactación y competencia vegetación espontánea	Sí
<i>Avena strigosa</i>	Avena negra	120	↑ contenido de MO	Sí
<i>Festuca ovina</i>	Festuca ovina	150	Competencia por agua (desvigorizar viñedo), competencia vegetación espontánea	No

Para la incorporación de los CC se utilizó un equipo Mini Toro 1.200, implemento que se acopla al tractor, el cual semi entierra los rastrojos mediante un golpe vertical. La forma de trabajo es la misma que “cavar a mano”, ya que realiza una penetración, un tirón y un lanzamiento. Esta labor se realizó la segunda quincena de noviembre de cada temporada, y permitió una incorporación más homogénea de la biomasa en los primeros centímetros del suelo para aquellas especies que se incorporan (Cuadro 1). Si el cultivo de cobertura está muy alto, es necesario primero triturar los tejidos para posteriormente incorporar.

Se utilizaron sensores de contenido de agua del suelo (EnviroSCAN). Este sistema está formado por sondas de capacitancia con multi-sensores conectados a un datalogger. EnviroSCAN usa la tecnología denominada Frequency Domain Reflectometry (FDR) para medir la cantidad de agua en el suelo. Los sensores fueron instalados en la zona radicular más activa del viñedo (20 - 40 - 70 y 100cm), en una repetición por tratamiento representativo de los sistemas radicales de los CC.

Métodos

La preparación del suelo previo a la siembra se realizó mediante dos pasadas de un vibrocultivador por la entre hilera. Para la primera etapa, las especies fueron sembradas entre el 6 y el 20 de junio del 2017. Las leguminosas no fueron inoculadas, como tampoco fertilizadas.

Durante el mes de junio 2017 la temperatura mínima más baja fue de $-2,6^{\circ}\text{C}$ y durante Julio las temperaturas mínimas llegaron a los $-3,2^{\circ}\text{C}$, incluyendo una precipitación en forma de nieve el día 15 de Julio. Esto explica la baja germinación de algunas especies, motivo por el cual la vegetación espontánea logró competir en mayor grado con los cultivos cubierta, lo cual fue evaluado utilizando un cuadrante de $0,25\text{m}^2$, el cual fue lanzado al azar tres veces en cada hilera (al principio, al medio y al final), obteniendo así la densidad de población de vegetación espontánea en cada tratamiento. Con este procedimiento se logró seleccionar los cultivos más idóneos para la segunda parte del estudio, con el objeto de dar cumplimiento a los objetivos específicos 2 y 3.

Tratamientos y diseño experimental en la segunda etapa del estudio

En base a los resultados del establecimiento del año 2017, la segunda etapa del estudio consideró solo a aquellos cultivos que presentaron menor densidad de vegetación espontánea y mayor cubrimiento, lo que definió los tratamientos del ensayo para las evaluaciones de suelo y planta (Cuadro 2). Así, en una segunda temporada se sembraron las especies del Cuadro 2 la última semana de junio del 2018. Adicionalmente, en ambas temporadas se incluyó un tratamiento solo con vegetación espontánea y como testigo hileras sin cobertura vegetal, lo que se logró con un control químico en base a Roundup, dosis de 3kg ha^{-1} , aplicaciones al 100% de la superficie, con 2 aplicaciones al año (invierno y primavera).

Cuadro 2. Tratamientos en el ensayo del cuartel Rozas para el cumplimiento de los objetivos específicos 2 y 3.

Tratamiento	Especie
T0	Suelo descubierto
T1	Suelo con vegetación espontánea
T2	<i>Trafimax</i>
T3	<i>Raphanus sativus</i>
T4	<i>Sinapis alba</i>
T5	<i>Festuca ovina</i>

A los CC no se les aplicó fertilizante adicional al aplicado a la viña (que es aplicado bajo la línea de goteo), donde se aplica potasio (Aquamix) y N (Uan), lo mismo ocurrió con el riego. La distribución de los tratamientos fue similar al primer ensayo, con dos entre hileras asignadas a cada tratamiento, cuatro repeticiones, en distribución de bloques completos al azar.

Evaluaciones

Evaluaciones climáticas

Se dispuso de la información de una estación meteorológica ubicada en Buin (Estación Los Tilos) perteneciente al INIA, con la cual se obtuvo temperaturas máximas y mínimas, así como también precipitación y evapotranspiración acumulada.

Evaluaciones de suelo

Se realizó una caracterización morfológica inicial del suelo (agosto de 2017) mediante 3 calicatas ubicadas en distintos sectores del cuartel (Figura 1). Se definieron los horizontes genéticos y clasificaciones interpretativas, comprobando la homogeneidad espacial del sitio.

La resistencia a la penetración (RP), se midió en 3 oportunidades. En octubre del 2017 se utilizó un penetrológico y fue posible medir en cada uno de los tratamientos cada 5 centímetros, llegando hasta los 80 cm de profundidad. Esto no fue posible en mayo del 2018 debido a la falta de humedad (dada las escasas precipitaciones de la temporada), donde solo fue posible medir con el penetrológico en algunos de los tratamientos. Para las mediciones realizadas en Julio de 2019, se pudo evaluar en todos los tratamientos utilizando un penetrómetro Dickins analógico y con una veleta de torsión. En ambos casos se midió la resistencia hasta los 50cm de profundidad.

Se realizó un muestreo de suelo a tres profundidades (0-10; 10-30 y 30-50 cm) en mayo de 2018 y junio de 2019 y en cada una de las unidades experimentales se evaluó:

- Densidad aparente por el método del cilindro (Sandoval *et al.*, 2012).

- Curva característica de suelo (olla y plato a presión), determinando la distribución de poros por tamaño (Dane y Hopmans, 2002).
- Estabilidad de macro agregados, mediante tamizaje seco y húmedo (Hartge y Horn, 2009).
- Estabilidad de micro agregados, por el método de la relación de dispersión (Berryman *et al.*, 1982).

Además en la superficie del suelo se midió la conductividad hidráulica no saturada (K_{ns}) mediante un minidisco infiltrómetro, a cuatro tensiones de suministro de agua (1, 2, 4 y 6 hPa) (Reynolds, 2006) en febrero de 2018 y abril 2019, de manera de asegurar que las raíces de los cultivos cubierta se hayan descompuesto, ejerciendo su efecto en el suelo. Se realizó un ajuste cuadrático de la altura de agua infiltrada en función de la raíz cuadrada del tiempo. Con el coeficiente de curvatura (C_1) del ajuste se calculó la conductividad hidráulica no saturada (K_{ns}) mediante la relación $K_{ns}=C_1/A$, donde A es el parámetro de atracción matricial en función de la clase textural del suelo (Zhang, 1997). Finalmente, con el ajuste de K_{ns} en función de la tensión de medición, se calculó la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) al proyectar el ajuste lineal de los datos a la tensión $h = 0$ hPa.

Para el caso del contenido de agua del suelo, los sensores de humedad se ubicaron en T0, T1, T3 y T4 (Cuadro 2) debido a que son tratamientos de sistemas radicales representativos y que pueden presentar una mayor competencia de agua para la viña. Aún así el sensor se ubicó cercano a la vid, a 10 cm desde la proyección del gotero, de manera de representar el consumo de agua del cultivo de vid en la temporada, una vez que el cultivo de cobertura es segado y/o incorporado.

Además, se enviaron muestras a un laboratorio externo, para medir el contenido de MO y una evaluación nutricional entre los 0-30 cm de profundidad de una muestra compuesta, después de 6 meses de cortados y/o incorporados los CC (aproximadamente marzo de 2018 y marzo de 2019), evaluando N, P y K disponible, CE (conductividad eléctrica) extracto acuoso 1/5 a 20°C y pH (Sadzawka *et al.*, 2004) en relación suelo y agua 1/2,5, tanto el pH y CE es sobre un extracto de pasta saturada. La MO se determinó por el método de calcinación (Sadzawka *et al.*, 2004).

Análisis nematológico

En un laboratorio externo se realizaron los análisis para nematodos en enero y diciembre de 2018 y abril de 2019. Se tomó 1 kg de muestra compuesta por tratamiento y por bloque, lo más cercano a las raíces de la viña y del CC, entre los 20 y 60 cm de profundidad, a un contenido de agua aproximado a capacidad de campo. Se midió la cantidad de individuos (*Xiphinema index*, *Paratylenchus* sp. y nematodos no fitoparásitos) presentes en 250 mL de suelo. Complementariamente, en octubre de 2019 se realizó un análisis en el laboratorio de Nematología de la Universidad de Chile, midiendo *Paratylenchus* sp., *Xiphinema* sp. y nematodos no fitoparásitos en 250 mL de suelo.

Evaluaciones del viñedo

Se realizaron análisis foliares en cada uno de los tratamientos, a partir de una muestra compuesta de cada uno de ellos, las cuales consistían en 50 láminas colectadas en pinta, considerando hojas inmediatamente opuestas al racimo, para evaluar los niveles de macronutrientes: N amoniacal y nítrico mediante el método automático de espectrofotometría de UV-visible (ISO 13395:1996); N total mediante el método de Dumas (Dumas, 1831); P, K, Ca, Mg, S y micro nutrientes como Fe, Mn, Cu, Zn, Br y Mo mediante espectrometría de emisión por plasma con detector óptico (ICP-OES), todos según Sadzawka *et al.* (2006). Estos análisis fueron realizados en un laboratorio externo y se midió tanto para macro como microelementos el porcentaje total.

Adicional a esto se midió masa de la poda, la masa total del racimo, el número de bayas y la masa de bayas y raquis. Esto debido a que la masa de poda y la masa de cosecha permiten calcular el Índice de Ravaz (IR), el cual evalúa el equilibrio del viñedo, con el objetivo de tomar medidas para mejorar las condiciones de la planta en caso de desequilibrios de vigor (González *et al.* 2017). Dado que los procesos de inducción floral provienen de la temporada previa, se puede evaluar el IR utilizando la masa poda del año 2018 y la cosecha del 2019, donde IR es el cociente entre la masa de la uva cosechada y la masa de poda de la temporada previa.

Análisis estadístico

El diseño es en bloques completamente aleatorizados (DBCA), con 4 bloques y seis tratamientos. La unidad experimental corresponde a la entre hilera del viñedo.

Para comparar el efecto de los tratamientos, se realizó un análisis de modelos lineales mixtos, considerando los tratamientos y la profundidad como factores, analizando cada temporada por separado; sin embargo, en algunos casos se consideraron las temporadas como medidas repetidas en el tiempo y el caso de la resistencia a la penetración, solo se utilizaron los tratamientos como factor. En los casos donde existieron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple de LSD de Fisher ($\alpha \leq 5\%$). En caso de encontrar interacciones entre los factores, el análisis se realizó comparando los niveles de un factor dentro de cada nivel del otro factor. Por el contrario, de no haber interacción se procedió a evaluar cada factor de manera independiente. Eventualmente, ante la ausencia de efectos significativos de los factores en conjunto, se evaluó el efecto de los tratamientos en cada profundidad, de manera de tener un mayor detalle de la acción del sistema de raíces de los CC.

Para el caso de la conductividad hidráulica, los valores de conductividad no saturada (K_{ns}) fueron ajustadas a expresiones lineales (significancia de 5%) mediante pruebas de regresión, relacionando la K_{ns} a la tensión de suministro. Con el intercepto a tensión cero se determina la conductividad hidráulica saturada para cada uno de los tratamientos, valores con los cuales se realizó un análisis de varianza. En los casos donde existieron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple de LSD de Fisher ($\alpha \leq 5\%$).

En el caso de los nematodos, los datos fueron analizados mediante modelos lineales generalizados mixtos, utilizando la distribución binomial negativa y función de enlace log. Con el fin de verificar si existen diferencias estadísticas significativas entre las fechas de evaluación y los tratamientos, ya sea bajo interacción o actuando de manera independiente, se realizó el test de Wald. En el caso de encontrar diferencias significativas se utilizó la prueba de comparaciones múltiple de Fisher.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas durante el estudio

Durante la primera temporada (2017-2018) las temperaturas mínimas en invierno (julio) llegaron a los $-3,1^{\circ}\text{C}$, lo cual se suma a una precipitación en forma de nieve, afectando a la germinación de las especies de cobertura recién sembradas (Figura 2).

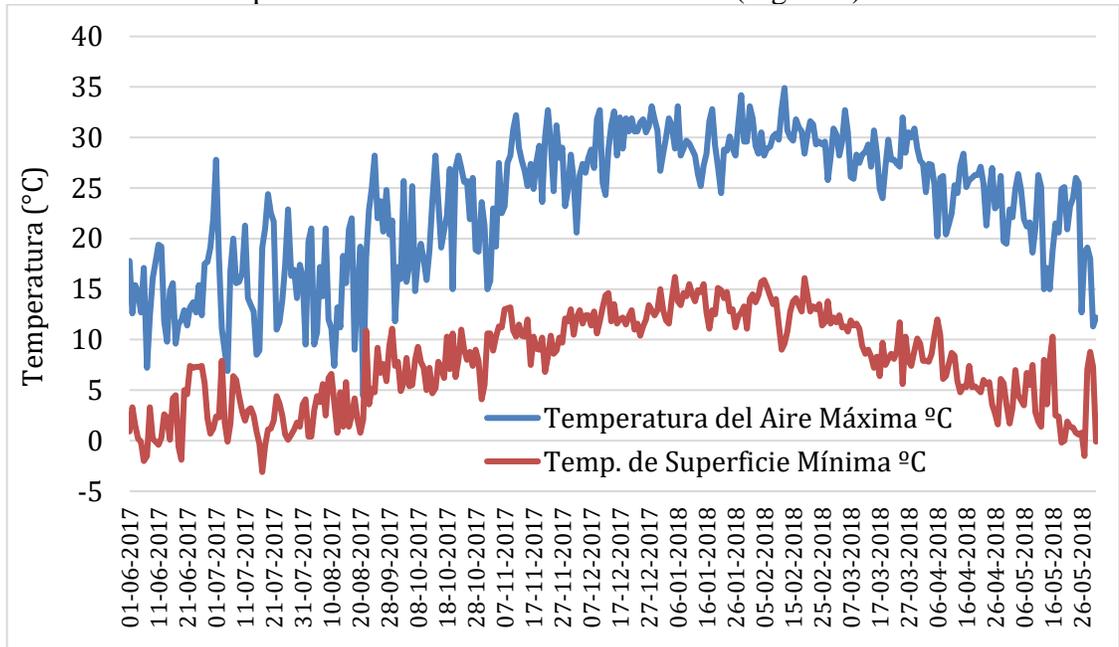


Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas primera temporada (2017-2018).

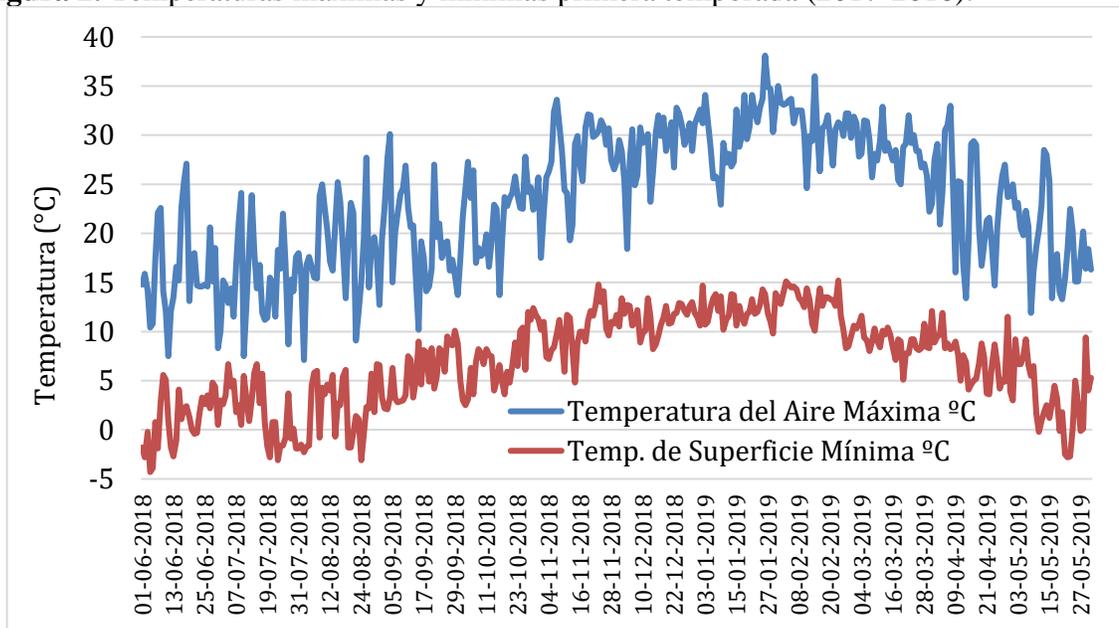


Figura 3. Temperaturas máximas y mínimas segunda temporada (2018-2019).

Durante la segunda temporada (Figura 3), las temperaturas mínimas fueron aún más extremas, llegando a $-4,3^{\circ}\text{C}$ en junio, pero esta no estuvo asociada a una precipitación en forma de nieve, por lo tanto, no afectó mayormente a las especies sembradas.

En el caso de las precipitaciones, en la primera temporada se registraron 187,3 mm disminuyendo a 142,7 mm en la segunda temporada, lo que afectó negativamente la germinación de las especies sembradas; por su parte, aquellas especies de germinación espontánea tuvieron mayor éxito en su germinación en relación con los CC. En el Apéndice 1 se presentan imágenes del establecimiento de los cultivos detallados en el Cuadro 1, lo que justifica la selección final de los tratamientos seleccionados para la segunda etapa del estudio.

Caracterización inicial del suelo

El cuartel utilizado para el ensayo presenta principalmente una clase textural franco arcillosa en los primeros 30 cm a franco arcillo limosa en profundidad (Apéndice 2) con un promedio de 2,31% de MO y una densidad aparente que varía de $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$ en los primeros 10 cm, $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ hasta los 40 cm de profundidad y $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$ a mayor profundidad, lo que denota la presencia de un posible pie de arado cercano a los 40 cm de profundidad. Finalmente, la densidad real varía de $2,60 \text{ Mg m}^{-3}$ en superficie a $2,64 \text{ Mg m}^{-3}$ en profundidad, dentro de los rangos esperables para suelos minerales.

Resultados de suelo dependientes de los tratamientos de la etapa 2 del estudio

Densidad aparente

El Cuadro 3 presenta los valores de densidad aparente (D_a) obtenidos durante los años 2018 y 2019, mediante el método del cilindro en función de la profundidad del suelo. Dada la variabilidad de las repeticiones, no se generaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, pero sí entre profundidades durante el año 2019 y el promedio de las dos temporadas, donde entre los 10 y 30 cm existe una mayor D_a , lo cual se observó también en la caracterización inicial y no fue solucionada con el uso de los CC durante las dos temporadas de estudio. Más aún, si se comparan estos valores con los obtenidos en la caracterización inicial, en todas las profundidades existió un aumento en la D_a .

Al comparar los valores de D_a según lo esperable de acuerdo con la clase textural (Sandoval *et al.* 2012), en los primeros 30 cm se esperarían valores entre $1,05$ a $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$, pero los valores medidos variaron entre $1,37$ a $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$. En profundidad, donde la clase textural predominante es franco arcillo limosa, se observan valores entre $1,39$ a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, siendo esperable valores cercanos a $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$. Es decir, existe cierto grado de compactación en el cuartel, sobre todo en el segundo horizonte, donde se observa una D_a cercana a los valores propuestos por Sandoval *et al.* (2012) de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ para un suelo compactado.

Cuadro 3. Densidad aparente (Mg m^{-3} , promedio \pm DS) de los distintos tratamientos en las dos temporadas y a 3 profundidades.

Tratamiento	Da (Mg m^{-3})			Promedio
	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm	
2018				
T0	1,37 \pm 0,13	1,45 \pm 0,05	1,44 \pm 0,07	1,42
T1	1,43 \pm 0,05	1,35 \pm 0,15	1,31 \pm 0,11	1,36
T2	1,40 \pm 0,10	1,51 \pm 0,19	1,41 \pm 0,14	1,44
T3	1,25 \pm 0,08	1,40 \pm 0,08	1,44 \pm 0,01	1,36
T4	1,44 \pm 0,11	1,44 \pm 0,06	1,40 \pm 0,14	1,43
T5	1,30 \pm 0,20	1,45 \pm 0,09	1,38 \pm 0,07	1,38
Promedio	1,37	1,43	1,40	
2019				
T0	1,37 \pm 0,14	1,52 \pm 0,12	1,39 \pm 0,01	1,43
T1	1,30 \pm 0,15	1,45 \pm 0,07	1,37 \pm 0,05	1,37
T2	1,40 \pm 0,07	1,57 \pm 0,16	1,47 \pm 0,13	1,48
T3	1,41 \pm 0,08	1,47 \pm 0,04	1,38 \pm 0,05	1,42
T4	1,35 \pm 0,11	1,50 \pm 0,04	1,38 \pm 0,05	1,41
T5	1,39 \pm 0,13	1,57 \pm 0,10	1,34 \pm 0,11	1,43
Promedio	1,37 b	1,51 a	1,39 b	
Promedio 2018 y 2019	1,37 b	1,47 a	1,39 b	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

Para el caso de los efectos de CC sobre la Da, Seguel *et al.* (2013), trabajando con una rotación de cultivos durante tres años en un parrón sobre un suelo franco arcilloso, concluyen que los CC presentan un efecto positivo en la generación de porosidad en el perfil completo debido al crecimiento de las raíces, lo que a largo plazo genera una disminución de la Da. Esto no se observó en este ensayo, lo cual se puede deber a que los CC no se desarrollaron de manera óptima, al tener inviernos con menor precipitación que las habituales para la zona central.

Aún cuando no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, se observa que el tratamiento T1(vegetación espontánea) presenta la menor Da promedio en ambas temporadas, lo que se puede deber a que este tratamiento consiste en la mezcla de hierbas naturales o vegetación espontánea que crecen en el campo, adaptándose a las condiciones de la zona. Esta mezcla, con patrones de enraizamiento diferentes, penetran a distintas profundidades el perfil del suelo, generando una descomposición de sus raíces, aumentando el contenido de MO y generando una disminución de la Da como consecuencia del aumento de la macroporosidad (Kay *et al.*, 1997, Casanova *et al.*, 2015).

Si bien la vegetación espontánea puede variar durante las distintas temporadas, principalmente dominan *Lamium amplexicaule*, *Ishfeldia incana*, *Urtica* sp., *Brassica campestris*, *Senecio vulgaris*, entre otras. Para ninguna de ellas se han reportado efectos alelopáticos, por lo que podrían constituirse como alternativa en viñedos, tal como lo señala Delpuech y Metay (2018) como estrategia para disminuir vigor en viñedos de secano.

Distribución de tamaño de poros

Mediante la curva característica de retención de agua en el suelo, se determinó la distribución de poros por tamaño (Dane y Hopmans, 2002). Los resultados se presentan en el Cuadro 4, 5, 6 y 7, con resultados estadísticos que variaron según la temporada.

Cuadro 4. Contenido de poros drenaje rápido (PDR, $>50\mu\text{m}$) (% , promedio \pm DS) de los distintos tratamientos según profundidad de muestreo en los dos años de tratamiento.

Tratamiento	PDR ($>50\mu\text{m}$)			
	2018			
	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm	Promedio
T0	12,87 \pm 2,80	14,63 \pm 3,83	14,90 \pm 3,37AB	14,13
T1	12,25 \pm 3,48	15,95 \pm 5,38	18,53 \pm 2,05A	15,58
T2	12,20 \pm 7,32	9,42 \pm 4,41	11,96 \pm 5,52 BC	11,19
T3	13,11 \pm 3,87	10,83 \pm 4,80	8,74 \pm 4,18 C	10,89
T4	9,42 \pm 3,40	14,78 \pm 2,59	9,27 \pm 0,86 C	11,16
T5	12,66 \pm 6,57	11,76 \pm 6,15	15,05 \pm 1,98AB	13,16
Promedio	12,09	12,90	13,08	
	2019			
T0	10,35 \pm 2,96	10,20 \pm 2,77	12,53 \pm 3,38	11,03AB
T1	13,11 \pm 3,52	10,39 \pm 2,41	14,30 \pm 2,98	12,60A
T2	8,72 \pm 2,52	7,55 \pm 3,11	10,37 \pm 2,11	8,88 C
T3	9,36 \pm 2,14	8,74 \pm 0,91	12,20 \pm 1,05	10,10 BC
T4	10,31 \pm 4,69	7,77 \pm 1,36	11,83 \pm 3,23	9,97 BC
T5	9,31 \pm 3,64	7,57 \pm 2,03	12,18 \pm 1,82	9,69 BC
Promedio	10,20 b	8,70 c	12,24 a	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p<0,05$). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p<0,05$).

En los PDR se observa que en el primer año del ensayo no existen diferencias significativas entre tratamientos, con excepción de aquellos entre los 30-50cm, resultado que cambia durante el 2019, donde sí existen diferencias, tanto entre los valores promedio de los tratamientos como en profundidad.

En el caso de los tratamientos, T1 presenta los valores más altos, lo cual se puede deber a que, como se trata de la vegetación espontánea, tiene más adaptaciones para crecer frente a

las bajas precipitaciones que existieron durante la temporada 2019 y, por lo tanto, generaron un mayor volumen de raíces en relación a los CC, los cuales corresponden a especies seleccionadas para desarrollarse con manejos agronómicos, entre ellos el suministro hídrico (Prichard, 1998; Scholberg *et al.*, 2010). En definitiva, el mejor establecimiento de las especies naturalizadas genera un mayor enraizamiento en el suelo y por lo tanto un aumento en la macroporosidad (Kay *et al.*, 1997, Casanova *et al.*, 2015).

El tratamiento T2 (Trafimax) presenta los valores más bajos el año 2019, lo que se puede deber a que como este tratamiento presenta un enraizamiento superficial, al igual que T5 (Festuca), no genera grandes cambios en profundidad en el perfil, generando en promedio menos macroporosidad. Al respecto, cultivos con raíces pivotantes generan un incremento de macroporos al cabo de tres años, no así las especies con raíces fasciculadas, las cuales tienden a crecer en un patrón más superficial, y cuya continua renovación y facilidad de descomposición no genera efectos en profundidad (Pagenkemper *et al.*, 2014). De todas formas, en la segunda temporada todos los tratamientos presentaron valores de PDR menores a 14%, señalado como crítico por Reynolds *et al.* (2009) para suelos de texturas francas finas. La disminución respecto a la primera temporada fue mayor en el testigo, y obedece a procesos de contracción interna generados por secado estival intenso (Seguel *et al.*, 2020).

En el caso de los poros de drenaje lento (PDL), no se presentaron diferencias entre tratamientos y profundidades durante el 2018 y 2019, pero si se considera el promedio de ambas temporadas, se generan diferencias entre tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido de poros de drenaje lento (PDL, 10-50 μm) (%), promedio \pm DS) de los distintos tratamientos según profundidad de muestreo; valor promedio de los dos años de tratamiento.

Tratamiento	PDL (50 - 10 μm)			Promedio	
	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm		
T0	8,90 \pm 3,18	7,89 \pm 3,57	9,61 \pm 2,64	8,81	AB
T1	8,29 \pm 2,33	9,84 \pm 4,78	9,40 \pm 1,77	9,18	A
T2	6,61 \pm 1,93	7,31 \pm 3,43	7,80 \pm 3,79	7,24	B
T3	11,08 \pm 3,35	8,01 \pm 3,35	9,94 \pm 3,79	9,68	A
T4	9,36 \pm 3,49	6,76 \pm 3,54	9,20 \pm 3,79	8,44	AB
T5	6,40 \pm 5,46	7,58 \pm 3,54	7,79 \pm 2,34	7,26	B
Promedio	8,44	7,90	8,96		

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Los valores más elevados se observan en T1 y T3, donde T1 se puede explicar por el desarrollo de la vegetación natural que se adapta mejor a los periodos de sequía y T3 debido a que esta especie presenta una raíz pivotante, con mayor grosor y capacidad de exploración en relación a los demás tratamientos; así, su descomposición generará mayor contenido de MO, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Lal *et al.* (1994), quienes señalaron que con el aumento de los contenidos de carbono orgánico del suelo aumenta la porosidad menor a 30 μm . Los tratamientos T2 y T5, al igual que para los PDR, presentan los promedios

más bajos en el perfil del suelo, ya que su sistema radical es superficial, no penetrando en profundidad.

En el caso de los poros de agua útil (PAU), evaluados como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, con los valores clásicos de 33 y 1500 kPa de energía de retención, se observaron diferencias estadísticas significativas para las distintas profundidades, tanto en el promedio de las dos temporadas como durante la temporada 2019 (Cuadro 6), y entre tratamientos solo en el promedio de las dos temporadas (Cuadro 7).

Cuadro 6. Contenido de poros de agua útil (PAU, 0,2-10 μm) (% , promedio \pm DS) de los distintos tratamientos según profundidad de muestreo en los dos años de tratamiento.

PAU (10 - 0,2 μm)				
Tratamiento	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm	Promedio
2018				
T0	8,83 \pm 0,76	7,50 \pm 2,78	7,88 \pm 2,05	8,07
T1	9,03 \pm 0,63	5,64 \pm 3,71	7,15 \pm 1,78	7,27
T2	5,26 \pm 5,37	9,59 \pm 1,74	9,18 \pm 3,05	8,01
T3	10,10 \pm 1,44	9,04 \pm 0,87	9,03 \pm 1,49	9,39
T4	11,13 \pm 1,24	9,11 \pm 0,74	8,06 \pm 4,24	9,43
T5	9,25 \pm 2,24	9,77 \pm 2,13	11,85 \pm 3,78	10,29
Promedio	8,93	8,44	8,86	
2019				
T0	16,94 \pm 3,92	13,02 \pm 1,33	11,88 \pm 3,05	13,95
T1	13,85 \pm 1,47	13,38 \pm 0,42	9,88 \pm 4,45	12,37
T2	11,94 \pm 3,00	12,51 \pm 1,04	11,69 \pm 2,61	12,05
T3	15,23 \pm 0,87	11,37 \pm 1,45	12,03 \pm 1,29	12,88
T4	12,52 \pm 2,82	13,66 \pm 3,23	13,65 \pm 3,11	13,28
T5	18,01 \pm 4,82	12,09 \pm 2,28	12,16 \pm 1,67	14,09
Promedio	14,75 a	12,67 b	11,88 b	
Promedio 2018 y 2019	11,84 a	10,56 b	10,37 b	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

De acuerdo con Reynolds *et al.* (2009), en la primera temporada los PAU presentaron valores en rangos de pobre a limitado, incrementándose en la segunda temporada, aunque siempre en un nivel limitado. Sólo en superficie de la segunda temporada se observa un valor de PAU cercano al óptimo (15-20%), lo que se genera por el aporte superficial de residuos de los CC, dependiendo el efecto en profundidad del patrón de enraizamiento del cultivo (Gaudin *et al.*, 2013).

Jian *et al.* (2020) indican que los mejores indicadores físicos de los efectos de los cultivos de cobertura sobre la salud del suelo se relacionan a aquellos relacionados con procesos de

agregación y flujo, e incluso el agua aprovechable podría disminuir en relación con un control sin cultivo de cobertura. De todas formas, en todos los tratamientos se evidencia un incremento de los PAU en la segunda temporada, lo que debiese responder a procesos de agregación diferenciada según la temporada, tal como ocurrió para los PDR, los cuales disminuyeron, contrayéndose a tamaños en el rango de los PAU (Seguel *et al.*, 2020). Destaca T5 en ambas temporadas con los valores más altos en todo el perfil, lo que se traduce en el mayor promedio de PAU para el periodo de estudio, con diferencias estadísticas significativas respecto al tratamiento de vegetación nativa y al tratamiento de Trafimax (Cuadro 7).

Cuadro 7. Promedio de PAU de cada uno de los tratamientos para las dos temporadas.

Tratamiento	PAU (10 - 0,2 μ m)
	Promedio 2018 y 2019
T0	11,01 AB
T1	9,82 B
T2	10,03 B
T3	11,13 AB
T4	11,36 AB
T5	12,19 A

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

T5 se caracteriza por presentar un sistema radicular fasciculado que se desarrolla principalmente en los primeros centímetros, lo que hace que aumente el sistema poroso asociado a la retención de agua aprovechable (Baginsky *et al.*, 2010).

Estabilidad de microagregados

Mediante el método de relación de dispersión (Berryman *et al.*, 1982) se determinó la estabilidad de microagregados entre 1 y 2mm de diámetro, cuyos resultados se observan en el Cuadro 8. Por corresponder a una prueba de dispersión, el menor valor denota la mayor estabilidad de agregados.

Tal como ocurrió en las propiedades previamente analizadas, en la primera temporada no se registraron diferencias estadísticas significancias para ningún factor, aunque en el promedio de las temporadas el factor profundidad presenta significancia, siendo más estable en profundidad (menor RD). Seguel *et al.* (2013) señalan que los manejos con CC necesitan al menos tres años para comenzar a manifestar cambios significativos en las propiedades del suelo, por lo que el resultado de la presente investigación es consistente en generar los primeros cambios a partir del segundo año de cultivos en la entre hilera de la vid.

Cuadro 8. Relación de dispersión (RD, % \pm DS) para microagregados en los distintos tratamientos durante las dos temporadas.

Tratamiento	Relación de dispersión (%)			
	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm	Promedio
2018				
T0	79,2 \pm 3,4	68,3 \pm 6,1	71,2 \pm 6,8	72,9
T1	77,0 \pm 2,6	78,5 \pm 3,4	66,3 \pm 8,1	73,9
T2	73,0 \pm 9,7	73,5 \pm 8,9	66,0 \pm 12,6	70,8
T3	65,7 \pm 16,3	64,6 \pm 13,0	71,6 \pm 9,8	67,3
T4	66,1 \pm 6,4	69,9 \pm 2,9	67,6 \pm 13,4	67,9
T5	62,3 \pm 9,7	76,4 \pm 12,3	71,4 \pm 9,1	70,0
Promedio 2018	70,6	71,9	69,0	
2019				
T0	79,6 \pm 7,1	75,0 \pm 2,7	66,5 \pm 6,1AB	73,7 A
T1	68,9 \pm 3,7	68,6 \pm 1,4	58,6 \pm 4,0 C	65,4 C
T2	81,1 \pm 3,6	73,6 \pm 7,7	60,8 \pm 1,5 BC	71,8 AB
T3	79,4 \pm 6,1	74,5 \pm 2,2	59,0 \pm 2,4 C	71,0 AB
T4	75,1 \pm 10,2	72,3 \pm 3,9	67,6 \pm 6,3A	71,7 AB
T5	76,8 \pm 2,1	74,9 \pm 5,8	56,0 \pm 4,8 C	69,2 BC
Promedio 2019	76,8 a	73,2 b	61,4 c	
Promedio 2018-2019	73,7 a	72,5 a	65,4 b	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

En la temporada 2019, T0 presenta los valores de RD más altos, es decir, con menor estabilidad de agregados. El tratamiento T1 presenta la mayor estabilidad, debido al mayor aporte de MO y polisacáridos, que promueven eficientemente la unión de partículas, como resultado de la descomposición de los materiales frescos (Abiven *et al.*, 2009; Brady y Weil, 2016); por otra parte, T1 es el único tratamiento que presentó una disminución de RD en la segunda temporada en los primeros centímetros de suelo, por lo que destaca su efecto acumulado en el tiempo.

También se observó una mayor estabilidad de agregados en profundidad, lo que se puede deber a la descomposición de las raíces de los cultivos que se desarrollaron de mejor manera durante la primera temporada, producto de las precipitaciones invernales. Brunel-Saldías *et al.* (2016) indican que el incremento de la RD en profundidad se puede deber a agentes estructurantes distintos a la materia orgánica, como los óxidos de hierro, característicos de suelos Alfisoles del sur de Chile; sin embargo, este no sería el caso del presente estudio, y el resultado respondería a la descomposición de raíces en profundidad (Baginsky *et al.*, 2010).

Six *et al.* (2004) encontraron que los agregados eran más estables cuando eran formados después de la senescencia del cultivo y no durante la etapa vegetativa, debido al ciclo de estabilización post descomposición microbiana de los residuos. En el estudio realizado por

Seguel *et al.* (2011), no se pudo observar esta tendencia, debido principalmente a las características del suelo del ensayo (zona norte de Chile) que presenta bajo desarrollo de estructura y predominan texturas gruesas, lo que no permite que los cambios sean detectados en poco tiempo. Sin embargo, en el estudio de Seguel *et al.* (2013) se observó una mejora con el uso de estiércol y CC en un suelo franco fino de Copiapó, aunque sin diferencias significativas con el testigo, pero con valores de RD menores a 30% en superficie, lo que se relaciona con una alta estabilidad. En el presente estudio, todos los valores estuvieron por sobre el 30%, correspondiendo a suelos poco estables de acuerdo con el criterio señalado por Seguel *et al.* (2003), lo que confirma que los efectos de los CC se manifiestan en el mediano a largo plazo (Snapp *et al.*, 2005).

Estabilidad de macroagregados

La prueba de estabilidad de macroagregados (2–30 mm) considera la dispersión de estos por efecto del agua, obteniendo como resultado la variación en el diámetro medio de agregados (VDMA) (mm), donde un menor valor indica una mayor estabilidad. Los resultados obtenidos durante las dos temporadas se observan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Variación del diámetro medio de agregados (VDMA) (mm, promedio \pm DS) para las dos temporadas de estudio en las diferentes profundidades.

Tratamiento	VDMA (mm)			
	0-10 cm	10 - 30 cm	30 - 50 cm	Promedio
2018				
T0	2,86 \pm 1,80	4,89 \pm 2,06	3,91 \pm 1,58	3,89
T1	4,08 \pm 1,81	4,98 \pm 2,02	3,32 \pm 1,58	4,13
T2	3,17 \pm 1,67	4,49 \pm 2,32	3,94 \pm 1,64	3,87
T3	2,90 \pm 1,79	4,88 \pm 2,01	3,87 \pm 1,66	3,88
T4	2,91 \pm 1,79	4,84 \pm 2,03	3,88 \pm 1,66	3,88
T5	3,05 \pm 1,72	4,67 \pm 2,18	3,93 \pm 1,64	3,88
Promedio 2018	3,01 b	4,51 a	3,85 ab	
2019				
T0	5,76 \pm 1,34	7,21 \pm 1,61	5,96 \pm 2,06	6,31
T1	5,71 \pm 1,34	7,16 \pm 1,64	6,11 \pm 1,92	6,33
T2	5,55 \pm 1,36	6,69 \pm 1,59	6,39 \pm 1,79	6,21
T3	5,67 \pm 1,35	7,02 \pm 1,70	6,24 \pm 1,84	6,31
T4	5,66 \pm 1,32	6,86 \pm 1,63	6,23 \pm 1,82	6,25
T5	5,58 \pm 1,42	6,77 \pm 1,68	6,49 \pm 1,92	6,28
Promedio 2019	5,71 b	6,95 a	6,32 ab	
Promedio 2018-2019	4,36 b	5,73 a	5,08 a	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas entre profundidades ($p < 0,05$).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna de las dos temporadas, pero sí en las distintas profundidades, donde los primeros centímetros presentan una mayor estabilidad, tanto en la primera como en la segunda temporada. Esto se puede atribuir a que, como en los primeros centímetros se encuentra el mayor volumen de raíces de los tratamientos, con aporte directo de materia orgánica a causa de su descomposición, se genera una mayor estabilidad de agregados (Brady y Weil, 2016; Hao *et al.*, 2020).

En cuanto al efecto de los tratamientos, aun cuando no existen diferencias estadísticamente significativas, en ambas temporadas se observa el mismo patrón, siendo el tratamiento con mayor estabilidad el T2, en tanto el con menor estabilidad es el T1. Sin embargo, llama más la atención el incremento de la VDMA (disminución de la estabilidad) en el tiempo para todos los tratamientos y profundidades. En ambas temporadas, las muestras fueron tomadas en los últimos días de mayo y principios de junio, con eventos de precipitación no significativamente diferentes y sin régimen de riego, por lo que las diferencias entre temporadas pueden ser atribuidas a factores metodológicos, ya que en la segunda temporada, debido a factores de fuerza mayor, las muestras estuvieron largo tiempo almacenadas antes de su medición, lo que pudo generar un efecto “maduración” descrito por Dexter *et al.* (1988), y que permitiría explicar procesos de homogenización y pérdida de estabilidad como consecuencia del tiempo de almacenamiento.

Se puede observar que para la RD (microagregados) los valores disminuyen en profundidad, es decir, los horizontes más profundos presentan mayor estabilidad; lo contrario ocurre para la VDMA (macroagregados), donde los primeros centímetros de suelo presentan una mayor estabilidad de agregados. Esto también fue observado por Brunel-Saldías *et al.* (2016), quienes atribuyen a que, para los microagregados, la estabilidad está dada por el contenido de arcilla, en tanto para los macroagregados la estabilidad es controlada por el contenido de MO. Para el presente estudio, no existe un aumento marcado en el contenido de arcilla en profundidad (Apéndice 2), en tanto el contenido de MO fue medido solo en superficie, aunque es esperable una disminución de la MO en profundidad como resultado del patrón de enraizamiento de los cultivos y los aportes superficiales de residuos (Seguel *et al.*, 2015). Al respecto, como consecuencia de la mejor estructuración superficial por aporte de residuos en superficie, se encontró una relación positiva y creciente entre el promedio de los tratamientos para la densidad aparente y la VDMA, diferenciado por profundidad y temporada, resultados que se presentan en la Figura 4.

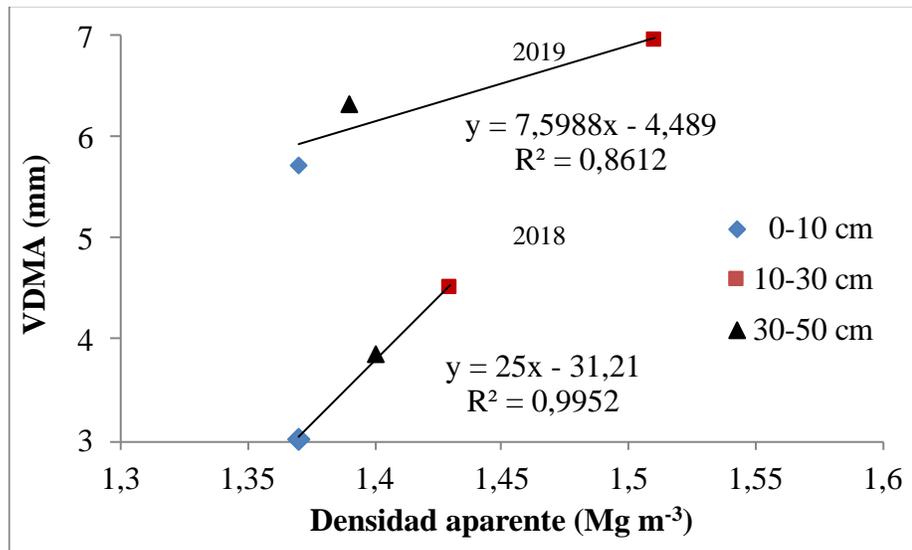


Figura 4. Relación entre densidad aparente y VDMA (promedio de tratamientos) para ambas temporadas y en función de la profundidad de suelo. Ajustes significativos al 95%.

Esta relación positiva entre D_a y VDMA se observa en ambas temporadas, encontrando en superficie una menor D_a , producto de los aportes de MO por los cultivos cubierta, mejorando como consecuencia la estabilidad de agregados (Seguel *et al.*, 2003). En el rango de profundidad 10-30 cm existe una mayor D_a , valor que aumentó en la segunda temporada, lo que se ve reflejado también en la disminución de los PDR y la mayor VDMA. Si bien los cultivos cubierta tiene la propiedad de entregar MO en profundidad, dada la descomposición de raíces, en la zona de mayor compactación esto no lo constataron los datos.

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración (RP) se evaluó al inicio del ensayo (año 2017) con un penetrológico, donde fue posible medir cada uno de los tratamientos, no así el 2018, donde solo fue posible medir algunos tratamientos, ya que el suelo no presentaba suficiente humedad. Para el último año se pudo evaluar todos los tratamientos utilizando un penetrómetro Dickins analógico y una veleta de torsión. Debido a esto, los datos no son comparables entre las distintas temporadas.

El Cuadro 10 muestra los resultados de RP vertical cada 5cm, obtenidos en octubre de 2017, en tanto el Apéndice 3 detalla los valores con su DS.

Cuadro 10. Resistencia a la penetración (RP, kPa) de los distintos tratamientos en función de la profundidad de suelo.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
T0	29 BC	54 BC	101 CD	167 C	207 C	258 C
T1	31 BC	77 B	240 A	412 A	470 A	463 A
T2	46 B	84 AB	148 BC	375 A	453 AB	464 A
T3	31 BC	50 BC	130 C	265 B	367 B	425 AB
T4	15 C	21 C	22 D	35 D	198 C	378 B
T5	70 A	130 A	218 AB	371 A	420 AB	420 AB

Tratamiento	(continuación) Resistencia a la penetración (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
T0	290 B	282 C	318 C	350 AB	339 BC	332
T1	449 A	415 AB	419 AB	417 A	409 ABC	363
T2	457 A	392 AB	335 BC	415 A	403 ABC	361
T3	420 A	426 A	425 A	431 A	433 AB	486
T4	417 A	445 A	458 A	417 A	450 A	421
T5	402 A	344 BC	328 BC	291 B	323 C	377

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontáneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos a una misma profundidad.

Los valores de resistencia se encontraron en rangos de muy bajo (10 -100 kPa) en superficie a bajo (100-1000 kPa) en profundidad de acuerdo con la clasificación de Schoeneberger *et al.* (2012), y en ningún caso superaron el valor crítico de 2000 kPa señalado por Horn y Fleige (2009) como limitante para el desarrollo de cultivos.

En todos los tratamientos se observa un aumento en la resistencia a la penetración a partir de los primeros 10cm de profundidad, consistente con los resultados de Da. Existen diferencias estadísticamente significativas en los primeros 55 cm, donde los tratamientos T0 y T4 presentan los menores valores de RP. La siembra de los CC se realizó en junio del 2017 y la medición de RP fue realizada en octubre del mismo año, por lo cual es posible que no se alcanzaran a ver los efectos de los tratamientos, lo cual concuerda con Baginsky *et al.* (2010), quienes señalan que la utilización de CC es un proceso donde se ven los resultados al cabo de 3 años de rotaciones. T5 presentó valores bajos de resistencia entre 45 y 55 cm de profundidad, pero es prematuro atribuirlo al efecto del tratamiento, por lo que podría estar más bien relacionado con el contenido de agua del suelo al momento de realizar la evaluación (Gao *et al.*, 2012).

En mayo del 2018, debido a la falta de humedad (menores precipitaciones en invierno), solo fue posible medir con el penetrológico en alguno de los tratamientos y se agregó una hilera donde se había pasado el subsolado por los problemas de compactación que presentan estos

cuarteles. En el Cuadro 11 se observan los valores obtenidos para dos de los tratamientos y las hileras con paso de subsolador, el cual se presenta a modo de referencia y en el Apéndice 4 los valores con su DS.

Cuadro 11. Resistencia a la penetración (kPa) de dos tratamientos y sector subsolado para las distintas profundidades.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (kPa)				
	Profundidad (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
T0	428	1.513 A	2.692 A	4.188 A	4.820 A
T1	538	1.293 A	1.375 B	1.405 B	2.019 B
Subsolado	90	216 B	318 C	278 C	287 C

Tratamiento	(continuación) Resistencia a la penetración (kPa)				
	Profundidad (cm)				
	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
T0	4.742 A	4.890 A	4.601	4.125	5.000
T1	2.633 B	2.900 B	3.126	3.424	4.165
Subsolado	322 C	1.597 B	2.856	3.308	4.759

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontáneas. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Dada la condición de menor humedad al momento de la medición, los niveles de resistencia alcanzaron categorías de moderada (1000-2000 kPa) en superficie a alta (2000-4000 kPa) e incluso muy alta (4000-8000 kPa) en el testigo en profundidad (Schoeneberger *et al.*, 2012). Al respecto, Pérez *et al.* (2010) consideran que el crecimiento de raíces es igual a cero con una resistencia a la penetración de suelo de aproximadamente 5.000 kPa, lo que en las condiciones de medición generarían restricciones considerables para la exploración radical en profundidad.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas a partir de los 5 centímetros de profundidad hasta los 35 cm, donde la hilera con subsolado presenta una RP hasta 16 veces menor al tratamiento T0, con lo cual se consigue una adecuada penetración de aire y agua para las plantas, generando las condiciones para el desarrollo radical (Carrasco *et al.*, 2015). Se observa también que existen diferencias estadísticamente significativas entre T0 y T1 debido a la acción de las raíces de la vegetación espontánea en el perfil del suelo.

La técnica del subsolado, como complemento a la cero labranza, ayuda a reducir la compactación del suelo en profundidad, facilitando así el crecimiento de raíces y favoreciendo la utilización del agua almacenada (Martínez *et al.*, 2011). El subsolador es una herramienta que tiene como objetivo básico remover y soltar el suelo a profundidades mayores de 30 cm (Carrasco *et al.*, 2015) según la magnitud y ubicación de la zona compactada. Esto se ve claramente reflejado en los resultados, donde hasta los 35cm existen diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos. Botta *et al.* (2010) indican que, para un suelo franco arcilloso manejado bajo labranza convencional, las labores de cincelado y subsolado son efectivas en disminuir la resistencia a la penetración hasta 35 a 40 cm de

profundidad, con valores menores a 700 kPa en relación con un control sin soltura mecánica, el cual puede superar los 1500 kPa en el perfil y manifestar un pie de arado en torno a los 30 cm de profundidad. Sin embargo, los mismos autores señalan que el efecto del subsolado duró solo dos años cuando se utilizaba maquinaria liviana y, en el caso del cincel, el efecto solo duraba 1 año. De ahí surge la necesidad de medidas complementarias para evitar la compactación, las cuales pueden llegar a tener incluso efectos sinérgicos (Seguel., 2017).

Para las mediciones realizadas en Julio 2019, se evaluó la RP vertical y horizontal. En el Cuadro 12 se observan los resultados de la RP vertical y en el Apéndice 5 los valores promedio más su DS.

Cuadro 12. Resistencia a la penetración vertical (kPa) para los distintos tratamientos a distintas profundidades en la temporada 2019.

Tratamiento	Resistencia a la penetración vertical (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	0-3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50
T0	128 A	272 A	248	207	237	303 A
T1	77 B	178 CD	192	209	196	220 B
T2	55 C	160 D	183	185	194	211 B
T3	77 B	208 BC	229	179	190	218 B
T4	85 B	166 CD	199	175	183	208 B
T5	84 B	227 B	220	178	168	207 B

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Nuevamente el perfil logró un buen contenido de agua con las lluvias invernales, por lo que los valores de resistencia se encontraron en rangos de muy bajo (10-100 kPa) en superficie a bajo (100-1000 kPa) en profundidad, de acuerdo con la clasificación de Schoeneberger *et al.* (2012).

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los primeros centímetros del suelo, siendo el tratamiento con mayor resistencia el T0, lo cual demuestra que con la penetración y descomposición de las raíces se produce una disminución de la RP por efecto de la MO (Martínez *et al.*, 2008). Aun cuando por debajo de los 10 cm no existen diferencias estadísticamente significativas, T0 presenta los mayores valores respecto al resto de los tratamientos, demostrando el efecto de los CC y vegetación espontánea en la descompactación del suelo, tanto por el aporte de MO que se genera por la degradación de sus residuos aéreos y subterráneos (raíces), como por el crecimiento de sus raíces en el perfil del suelo (Baginsky *et al.*, 2010). Sin embargo, Trükman *et al.* (2006) señalan que la mayor efectividad de los CC se logra en condiciones de secano, pues bajo riego tienden a enraizar de manera superficial; de esta manera, resulta crucial el régimen hidrológico y el tiempo de desarrollo del cultivo

En el Cuadro 13, se observa la RP horizontal, en donde se tienen resultados concordantes a lo obtenido en la RP vertical; el Apéndice 6 detalla los valores promedio más su DS.

Cuadro 13. Resistencia a la penetración horizontal (kPa) para los distintos tratamientos a distintas profundidades en la temporada 2019.

Tratamiento	Resistencia a la penetración horizontal (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	0-3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50
T0	43 A	81 A	98	100	106	114
T1	24 B	51 B	72	84	91	91
T2	22 B	51 B	74	90	88	94
T3	19 B	66 B	85	83	102	105
T4	28 B	60 B	82	90	80	81
T5	27 B	64 B	91	92	100	92

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

El tratamiento T0 nuevamente es el que presenta los valores más altos, existiendo diferencias estadísticamente significativas en los primeros centímetros de suelo. Entre los 10 y 50 cm, aun cuando no existen diferencias estadísticamente significativas, se observa que el tratamiento T0 sigue presentando los valores más elevados. Aún así, la razón entre la resistencia horizontal y la vertical (resistencia horizontal/resistencia vertical) entrega valores menores a 1, lo que es indicador de la ausencia de compactación, de acuerdo con Bachmann *et al.* (2006). Horn y Fleige (2009) demostraron que neumáticos con una carga de 3,3 Mg ejercen una tensión normal media de aproximadamente 50 kPa a los 40 cm de profundidad y que al aumentar esta carga a 6,5 Mg se generan tensiones de más de 100 kPa, incluso a 60 cm de profundidad. Para las labores de la viña, si bien se ocupa maquinaria de baja masa y presión de contacto, el tránsito repetido genera efectos acumulados, por lo que a través de los años es esperable que los valores de resistencia vayan incrementando (Uowicz y Lipiec, 2009), siendo importante mantener las coberturas vegetales para prevenir el deterioro estructural del suelo y mantener su funcionalidad porosa.

Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica no saturada (K_{ns}) se midió en dos oportunidades (febrero 2018 y abril 2019), con lo cual fue posible derivar la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) para cada uno de los tratamientos. Como no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ambas temporadas, se presentan los valores promedio de los dos años de medición (Cuadro 14), a modo de medidas repetidas en el tiempo, donde sí se registraron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 14. Conductividad hidráulica saturada (K_{sat} , cm h^{-1}). Valores promedio \pm DS para las dos temporadas (2018 y 2019).

Conductividad hidráulica saturada (K_{sat} , cm h^{-1})		
Promedio 2018 y 2019		
T0	2,13 \pm 1,02	A
T1	3,63 \pm 1,11	CD
T2	2,47 \pm 0,64	AB
T3	3,78 \pm 1,69	D
T4	2,89 \pm 0,96	ABC
T5	3,08 \pm 1,05	BCD

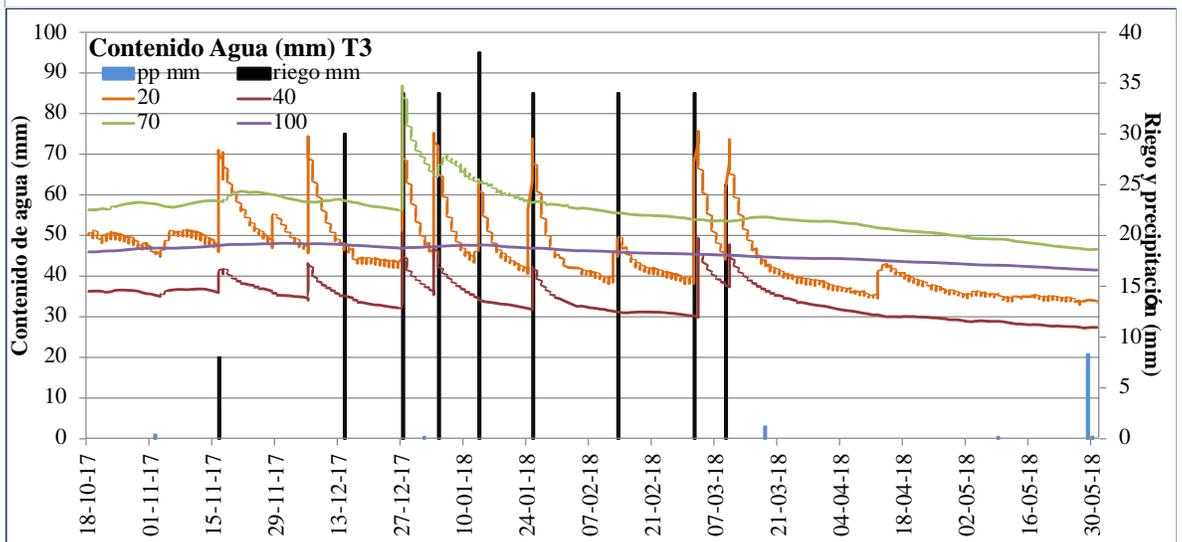
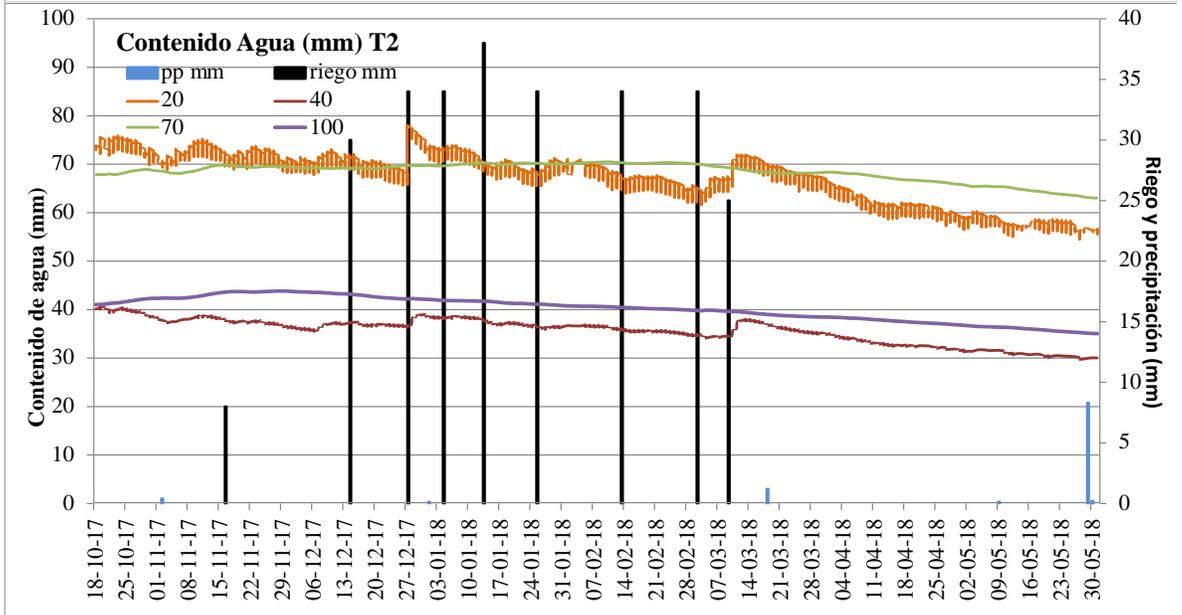
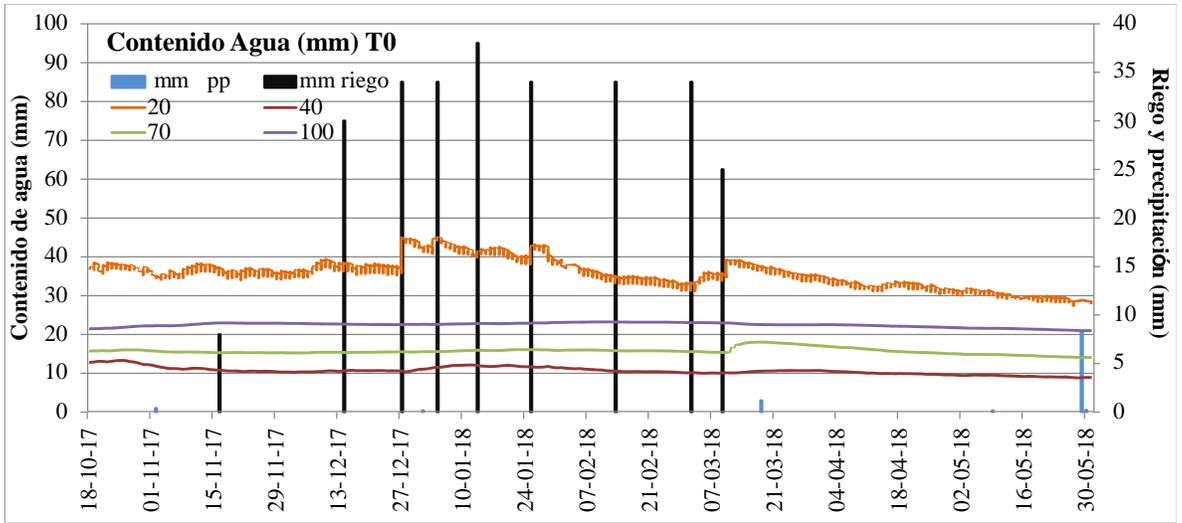
T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

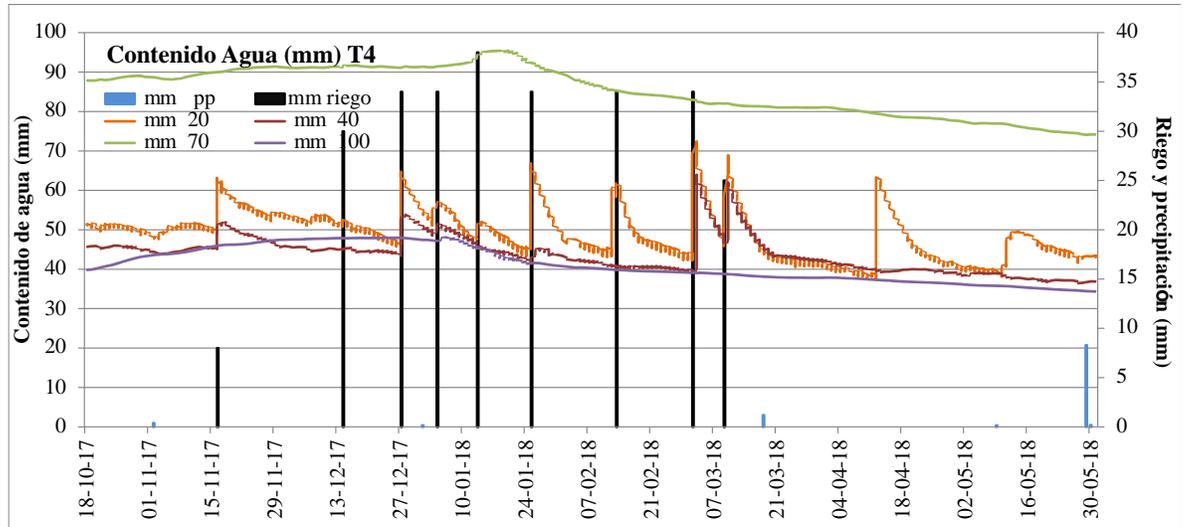
Según Schoenneberger *et al.* (2012), los valores de K_{sat} obtenidos en este estudio estarían dentro del rango moderado a alto, con excepción de T3, que tendría una K_{sat} alta. Es posible observar que el mejor tratamiento después de las dos temporadas de estudio es T3, debido principalmente a su sistema radicular pivotante y a su descomposición durante el verano, generando mayor porosidad (Hillel, 1980; Ingels *et al.*, 1998), lo que contribuye significativamente al aumento de la K_{sat} . Por su parte, el tratamiento T0, sin ninguna cobertura vegetal, presentó los valores más bajos de K_{sat} .

Después del tratamiento T3, se observa que el tratamiento T1 presenta los valores más elevados de K_{sat} , lo que se explica ya que la vegetación espontánea presenta una mayor variabilidad de especies, las que contribuyen de distinta forma a la porosidad del suelo tras su descomposición en verano. Estos valores concuerdan con lo obtenido por Seguel *et al.* (2011, 2013), donde los tratamientos que incluían especies con distinto sistema radicular generaron una porosidad más estable en el tiempo.

Contenido de agua

El contenido de agua fue medido durante las dos temporadas con sensores de humedad ubicados en los tratamientos T0, T2, T3 y T4 (respectivamente testigo, trafimax, rábano y mostaza). En la Figura 5 se observa el comportamiento durante la temporada 2017-2018 a las distintas profundidades (20, 40, 70 y 100cm).





T0: Suelo descubierto; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*

Figura 5. Contenido de agua, riego y precipitaciones durante la temporada 2017-2018 en los tratamientos T0 (Suelo descubierto), T2 (Trafimax), T3 (*Raphanus sativus*) y T4 (*Sinapis alba*).

En T3 y T4 se aprecia un incremento del contenido de agua (P_0) el 14 de abril, fecha en la cual solo existió una precipitación de 0,2mm y no se pudo tener mayor precisión en el registro del riego. Se observa una gran diferencia en P_0 entre los tratamientos y T0, donde el contenido de agua en T0 no supera los 50mm, a diferencia de T4, donde se observan contenidos de agua cercanos a los 100mm a la profundidad de 70cm. Esto concuerda con Baginsky *et al.* (2010), quienes señalan que en un suelo con cubierta vegetal la infiltración es alta, aumentando en la medida en que aumenta el porcentaje de cobertura del suelo por la propia cubierta viva o por los restos vegetales una vez que se realiza la siega. Otra gran diferencia es que T0 no presenta mayor variación en el momento de los riegos, no existiendo grandes fluctuaciones en P_0 . Al respecto, el tratamiento con rábano (T3) presenta fluctuaciones de P_0 hasta los 70 cm en función de los riegos, lo que podría ser un indicador de una mejor redistribución del agua dentro del perfil, tal como se ha observado en CC (Steenwerth y Belina, 2008).

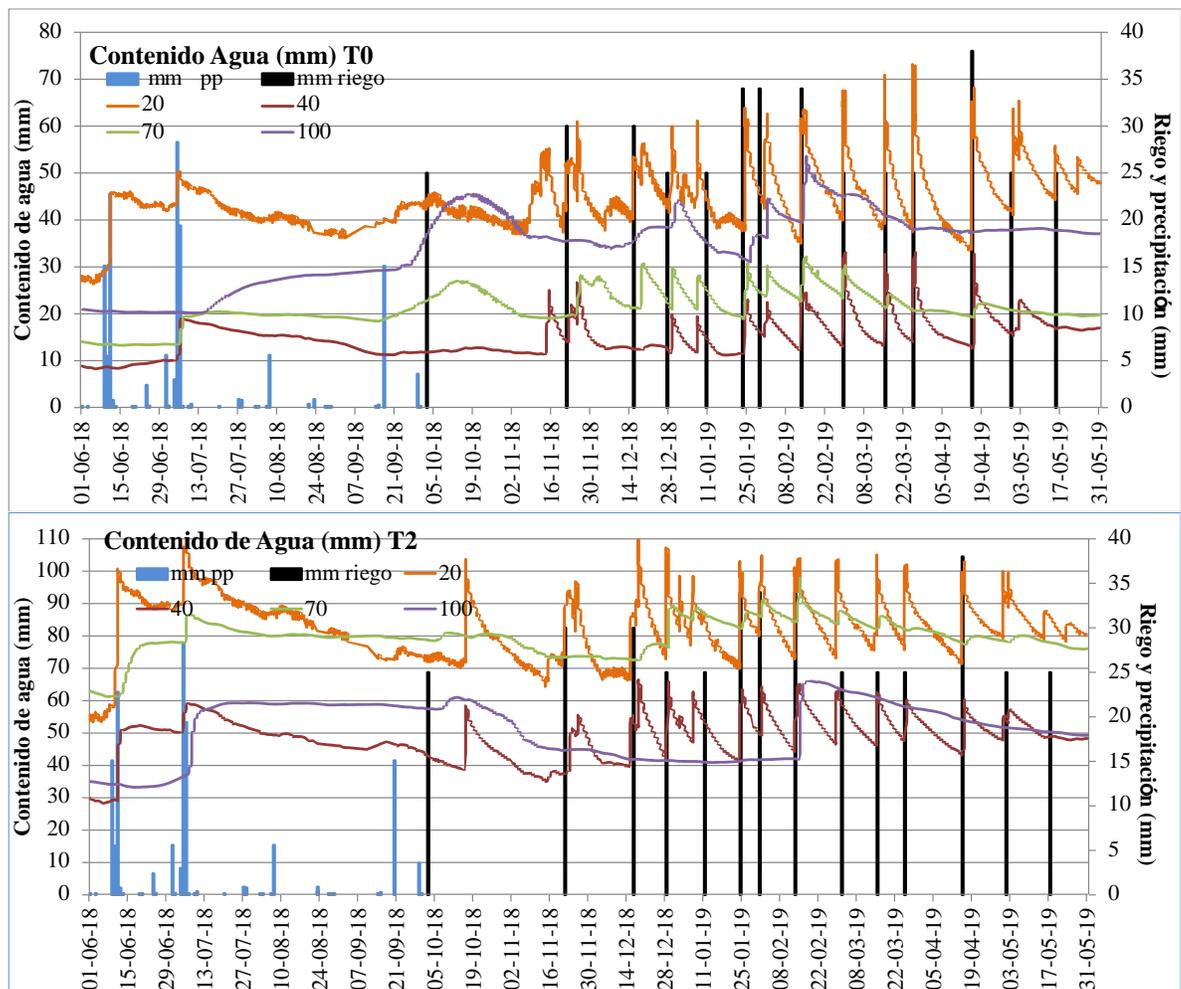
Los valores de CC fluctuaron en un equivalente de 74 a 87 mm de agua para todo el perfil del suelo (Cuadro 15), lo que permite verificar que el testigo presentó una condición permanente de estrés. Si bien un nivel de estrés hídrico moderado puede generar una mejor calidad de baya para la producción de vino, el estrés severo afectará negativamente la concentración de azúcares, afectando la calidad final del vino (van Leeuwen *et al.*, 2009). Por otra parte, de acuerdo con Oliver *et al.* (2013), el suministro hídrico del suelo entre los 0-50 cm de profundidad se encontraría en el rango subóptimo de agua aprovechable, por lo que el testigo debió ver afectado su desempeño, dado el menor contenido de agua en que se mantuvo durante la temporada.

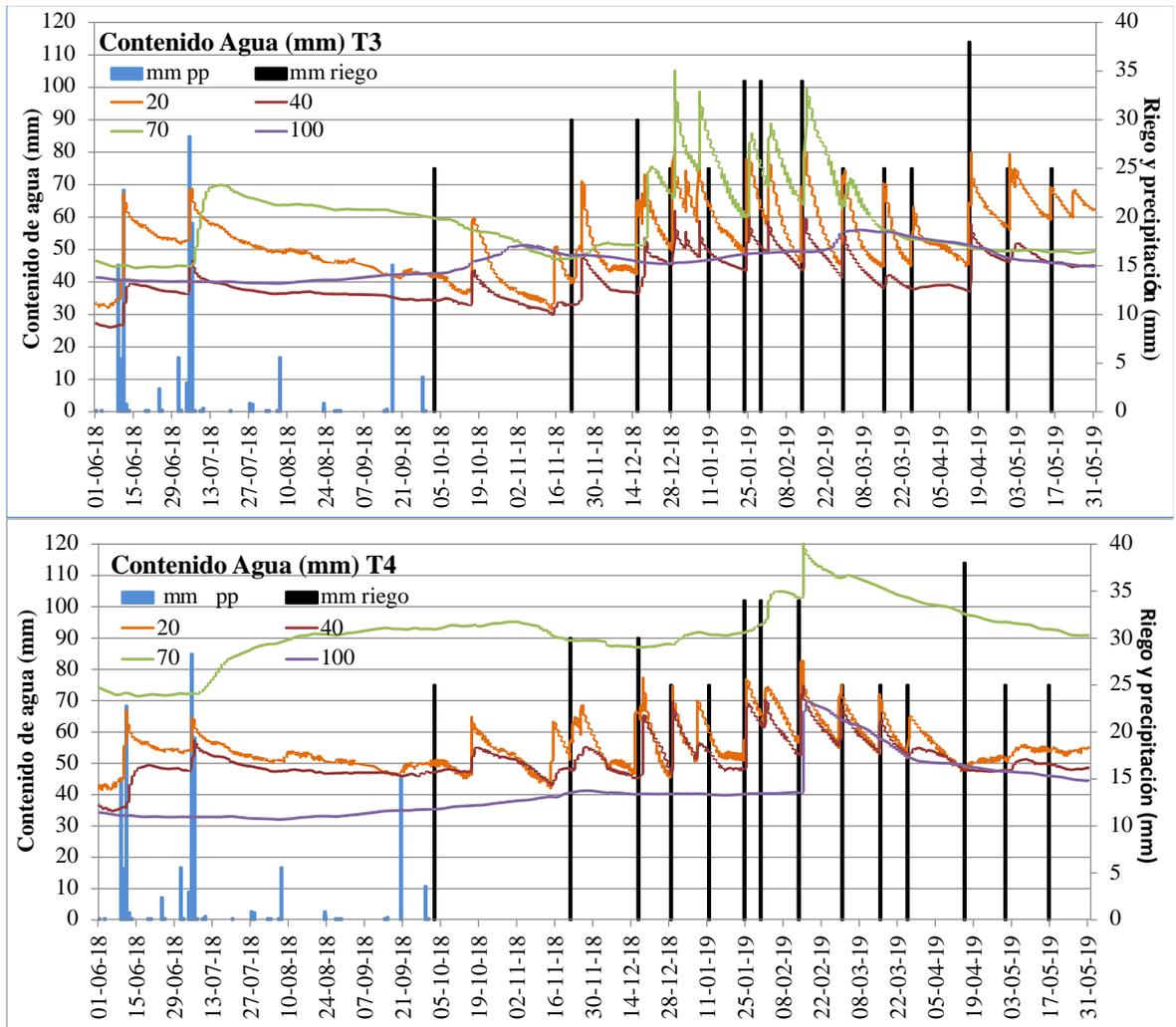
Cuadro 15. Valores de capacidad de campo (CC) (mm) y punto de marchitez permanente (PMP) (mm) del perfil completo, a partir de datos obtenidos en laboratorio.

Tratamiento	CC	PMP
	mm	
T0	74,5	50,3
T1	74,8	53,0
T2	78,7	54,7
T3	79,5	51,3
T4	87,4	59,1
T5	81,9	51,0

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*.

Durante la segunda temporada, como se observa en la Figura 6, nuevamente T0 es el que presenta el menor contenido de agua en relación con el resto de los tratamientos.





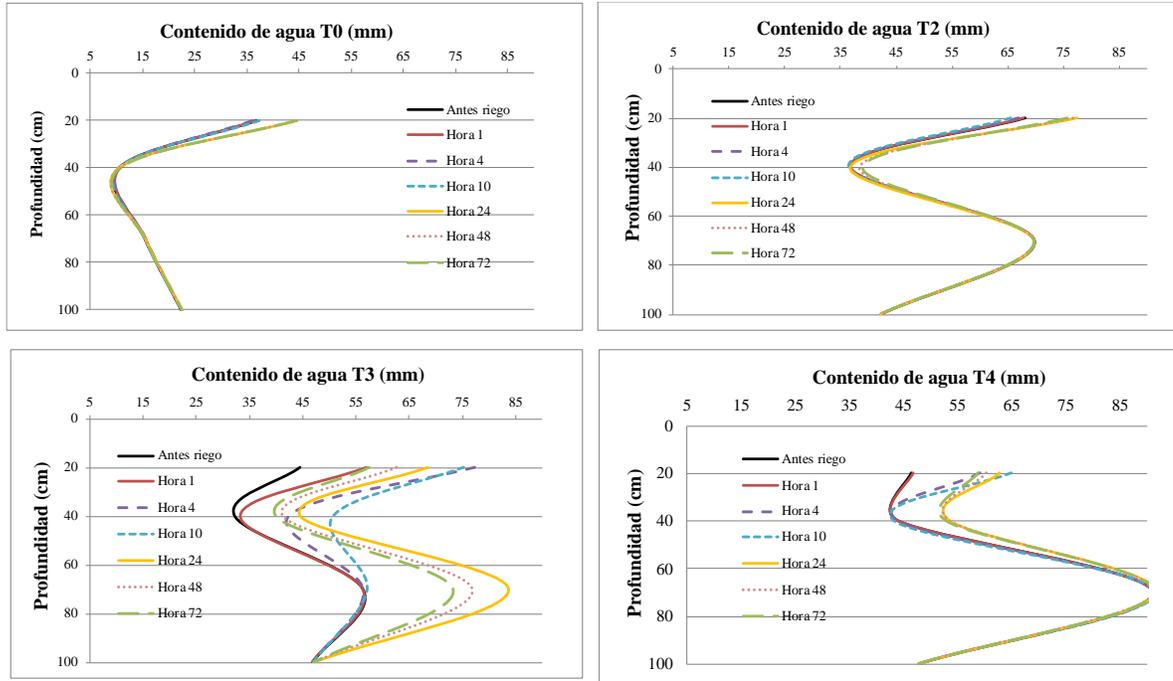
T0: Suelo descubierto; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*

Figura 6. Contenido de agua, riego y precipitaciones durante la temporada 2018-2019 en los tratamientos T0 (suelo descubierto), T2 (Trafimax), T3 (*Raphanus sativus*) y T4 (*Sinapis alba*). Nótese el cambio de escala en el eje Y.

Dada la mayor precipitación invernal y frecuencia de riego en la segunda temporada (14 riegos en relación a 9 riegos en la primera temporada), se generaron cambios más pronunciados en el contenido de agua en profundidad en relación a la temporada 2017-2018. En el tratamiento T0, se observa una mayor respuesta a los riegos en el sensor ubicado a 100 cm de profundidad, lo que indica que existe mayor percolación profunda que en el resto de los tratamientos, lo que se puede deber a la falta de estructuración que impide la generación de poros de retención de agua, aunque en casos de suelos arcillosos, la formación de grietas puede generar flujos preferenciales que explican el rápido movimiento del agua en profundidad (Pathak *et al.*, 2012).

En ambas temporadas, a los 40cm se observan bajos contenidos de agua, debido a la alta compactación que existe, con menor capacidad de retención de agua en relación a los otros horizontes, tal como fue descrito por Martínez *et al.* (2018) en un Alfisol degradado y manejado bajo una rotación avena-trigo-avena, donde la compactación por tráfico de

maquinaria genera una pérdida de poros estructurales, entre ellos los de retención de agua aprovechable por la planta. El detalle del comportamiento del contenido de agua en profundidad después de cada riego se presenta en la Figura 7, pudiendo observarse que el testigo (T0) tiene un comportamiento completamente distinto al resto de los tratamientos.



T0: Suelo descubierto; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*

Figura 7. Contenido de agua de los tratamientos después de un riego en diciembre de 2017.

Todos los tratamientos presentan una disminución marcada del contenido de agua a los 40cm, pero esta discontinuidad es más marcada en el testigo, llegando a valores de P_0 cercanos a los 5 mm, a diferencia del resto de los tratamientos, donde P_0 no es inferior a los 25 mm. Luego de esta disminución a los 40 cm, en todos los tratamientos existe un aumento en el P_0 , pero en T0 no supera los 25 mm, comportamiento completamente diferente a T4, donde los valores llegan a los 90mm. Keller *et al.* (2019) destacan el efecto del manejo histórico del suelo, con incrementos en la frecuencia y masa de los equipos, lo que se traduce en la pérdida de funcionalidad del sistema poroso en el subsuelo, con pérdida de capacidad de almacenamiento de agua aprovechable, entre otros efectos.

El tratamiento T3 (rábano) presenta un mayor dinamismo, con cambios en el consumo de agua en el todo el perfil, en una fecha donde el cultivo de cobertura ya no estaba presente, lo que indica la actividad de la raíz de la vid; algo similar, aunque en menor grado, se observa en T4. En el caso de T0 y T2, la redistribución del agua en profundidad es mínima, lo que se puede deber al bajo aporte de MO en profundidad, debido a que T2 solo presenta raíces superficiales, no así T3 y T4, que presentan raíces que penetran en el perfil (Bowman *et al.*, 2007), a lo cual se suma la incorporación que se realiza del material vegetal cortado en primavera y que se deposita como mulch superficial, favoreciendo el almacenamiento de agua (Zhang *et al.*, 2014).

Contenido de MO y evaluación nutricional

Se realizó un muestreo con muestra compuesta para análisis de fertilidad de suelo entre los 0-30 cm de profundidad después de 6 meses de cortados y/o incorporados los CC (mayo de 2018), evaluando N, P, CE (conductividad eléctrica) y pH. Además, se realizó un segundo muestreo en febrero del 2019. Los resultados se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Contenido de MO y evaluación nutricional.

Tratamiento	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	Ntotal (mg kg ⁻¹)	P Olsen (mg kg ⁻¹)	C/N
Mayo 2018						
T0	7,89	0,258	2,46	1.278	55,9	11,2
T1	8,03	0,216	2,41	1.241	56,6	11,3
T2	7,39	0,515	2,21	1.200	42,5	10,7
T3	7,75	0,475	2,32	1.285	44,7	10,4
T4	7,56	0,484	2,34	1.376	47,9	9,9
T5	7,60	0,381	2,12	1.132	35,7	10,9
Febrero 2019						
T0	7,39	0,303	1,66	943	36,1	10,2
T1	7,64	0,164	1,70	902	31,8	11,0
T2	7,67	0,114	1,42	738	23,2	11,2
T3	7,40	0,257	1,38	783	17,2	10,2
T4	7,68	0,119	1,18	692	9,8	9,9
T5	7,73	0,164	1,65	914	24,6	10,5

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*.

Como las evaluaciones se realizaron en una muestra compuesta, no fue posible realizar un análisis estadístico. Para el pH no existe una tendencia marcada para los tratamientos o el tiempo, pero se observa que están en un rango de 7,40 a 8,03. En este rango se ve favorecida la asimilación de ciertos elementos, como por ejemplo N, Ca, Fe, Mo, pero en el caso de P, Mg y B este pH no es el óptimo (Crespy, 2007).

En el resto de las variables existe una tendencia en el tiempo, donde en todos los tratamientos existe una disminución durante la segunda temporada. En el caso de la CE, en la primera temporada se observan valores superiores en los tratamientos con CC, con una clara disminución durante la segunda temporada, con excepción de T0, que aumentó su valor de 0,258 a 0,303 dS m⁻¹. Al respecto, Seguel *et al.* (2013) señalan que esto ocurre debido a que en una superficie sin cobertura vegetal, existe un ascenso capilar desde horizontes más profundos hacia la superficie, donde el agua se evapora y las sales precipitan y se acumulan gradualmente. Aún así, todos los valores se encuentran por debajo de 2,54 dS m⁻¹, señalado por Steppuhn *et al.* (2005) como un umbral crítico por sobre el cual se afecta el crecimiento del brote de la vid.

El contenido de MO se encuentra en niveles bajos a moderados, de acuerdo a Hazelton y Murphy (2007), por debajo del óptimo de 3,7% señalado por Holzapfel *et al.* (2011) para el adecuado desarrollo de vides con vigor medio, por lo que aún es necesario continuar trabajando en la línea de la incorporación de materia orgánica, vía enmiendas o a través de los CC, como una oportunidad para mejorar la condición física y nutricional del suelo (Oliver *et al.*, 2013). Al respecto, Seguel *et al.* (2013) señalan que es necesaria la aplicación continua de enmiendas en altas dosis, por al menos tres temporadas, para verificar cambios en el contenido de MO del suelo. Finalmente, la disminución de la MO en la segunda temporada puede corresponder al efecto de la fecha de muestreo, ya que las condiciones de temperatura y humedad controlan la actividad microbiológica, que en último caso determina la mineralización de los residuos orgánicos de los cultivos (Chenu *et al.*, 2019).

Los niveles de nitrógeno obtenidos tanto en la primera como en la segunda temporada están dentro del rango bajo (Hazelton y Murphy, 2007) y para el caso de T4 en la segunda temporada bordean los valores de muy bajo. Para el caso del P, según Oliver *et al.* (2015), los valores obtenidos en la primera temporada se encuentran en rangos adecuados, con excepción de T5, que está en el límite de medio-adequado. Para la segunda temporada, se observa que todos los tratamientos presentaron una disminución de los contenidos de P, llegando a valores de deficientes, salvo T0 y T1 que están en rangos medios. La estrategia de mantener una baja fertilidad en el suelo es utilizada por las viñas como un control del vigor, de manera de tener una mejor calidad de baya (Leibar *et al.*, 2017); sin embargo, es necesario prestar atención a la extracción de nutrientes por parte de los CC, de manera de evitar competencia por nutrientes, como podría ocurrir con T4 (*Sinapis alba*) para el caso del P.

Análisis nematológico

Las muestras para los análisis de nematodos se realizaron en enero y diciembre de 2018, y abril y octubre de 2019, solo en los tratamientos que tenían propiedades nematicidas, así como también en T0 y T1 para contrastar su comportamiento con los tratamientos de acción nematicida. Para *Xiphinema index*, solo se realizaron análisis en tres oportunidades (no se realizó muestreo en octubre 2019), no observándose diferencias estadísticamente significativas para el factor tiempo, pero sí para el factor tratamiento, por lo que el Cuadro 17 presenta el promedio de las tres fechas de evaluación.

Cuadro 17. Valores promedio (individuos/250 mL suelo) \pm error estándar (E.E.) de *Xiphinema index* de las tres épocas de muestreo.

Tratamiento	Media	E.E.	
T0	118	$\pm 54,7$	A
T1	6	$\pm 2,8$	C
T3	22	$\pm 10,1$	BC
T4	38	$\pm 18,7$	AB

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, donde la menor población de *X. index* se observó en el tratamiento T1 (vegetación espontánea), algo que se debiera evaluar a futuro, ya que para las especies observadas en el tratamiento (*Lamium amplexicaule*, *Ishfeldia incana*, *Urtica* sp., *Brassica campestris*, *Senecio vulgaris*, entre otras) no se han descrito previamente propiedades nematicidas. Baginsky *et al.* (2013) concluyeron que monocultivos tanto de raps como de nabo forrajero son efectivos en el control de *X. index*, evaluado como una tasa reproductiva en el tiempo, lo que no fue calculado en el presente estudio, dadas las diferentes fechas de muestreo. Si bien se esperaba un mejor comportamiento de T4 (*Sinapis alba*), ésta no presentó diferencias significativas con el testigo, lo que se pudo deber al modo y momento de incorporación al suelo, ya que Baginsky *et al.* (2010) indican que para que estos cultivos tengan mejor resultado en su acción nematotóxica, deben ser incorporados cuando las plantas presentan un 10% de sus flores abiertas y hasta plena floración.

Según Aballay *et al.* (2004) la actividad biocida de los glucosinolatos puede depender de su tipo y concentración. Casi cien diferentes formas de glucosinolato han sido identificadas a partir de plantas *Brasicaceas*. Aballay *et al.* (2004) también señalan que existen diferencias en toxicidad entre cultivares y otros factores como la edad y partes de la planta. Por su parte, aplicaciones de estiércol fresco también contribuyen al control de esta especie fitoparasitaria, ya que genera las condiciones de competencia con nematodos benéficos (Baginsky *et al.*, 2013).

Xiphinema americanus solo fue evaluada en octubre del 2019 y los resultados se observan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Valores promedio (Individuos/250 mL suelo) \pm error estándar (E.E.) de *Xiphinema americanus* para los cuatro tratamientos en la evaluación de octubre de 2019.

Tratamiento	Media	E.E.		
T0	53	$\pm 26,2$	A	B
T1	12	$\pm 5,9$		B
T3	24	$\pm 11,8$		B
T4	121	$\pm 59,2$	A	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, observando nuevamente que el tratamiento con vegetación espontánea presentó los menores valores para la población de *X. americanus* y T4, que debiera ser el tratamiento con mejor respuesta, presentó los valores más elevados. Esto se puede deber a que, según Sarwar y Kirkegaard (1998), los glucosinolatos de algunas especies de *Brassica* son hasta 10 veces mayores cuando son sembradas en primavera, en contraste con las sembradas en otoño, esto debido a que las plantas en otoño experimentan menos radiación, temperaturas más frescas y longitudes de día más cortos. Como resultado de estas condiciones, las plantas acumulan menos glucosinolatos y, por lo tanto, producen menos concentraciones de isotiocianatos cuando son incorporados en el suelo, disminuyendo su efectividad en el control de nematodos.

Otro punto por considerar es lo expuesto por Morra y Kirkegaard (2002), quienes indican que, para que exista una óptima biofumigación, se debe asegurar una máxima maceración de las células involucradas, así como también debe existir suficiente humedad en el suelo para que exista la hidrólisis; por lo tanto, debido a la escasez de precipitaciones en el periodo de estudio, puede que no existiera la humedad suficiente en el suelo para la formación de moléculas con propiedades nematicidas. En un ensayo en un parrón de uva de mesa en Copiapó, el uso de plantas con efecto nematicida tampoco presentó diferencias estadísticamente significativas con el control, lo que se atribuyó a que el tamaño de las raíces en un viñedo productivo, y con esto el área con nematodos, es mayor que el volumen explorado por los CC, por lo que el impacto de estos últimos no es suficiente como una medida de control (Baginsky *et al.*, 2013).

En el caso de *Paratylenchus* sp., existieron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos (Cuadro 19) en cada una de las fechas de muestreo, con excepción de la realizada en diciembre 2018.

Cuadro 19. Valores promedio (individuos/250 mL suelo) de *Paratylenchus* sp. para los cuatro tratamientos en cada una de las fechas de muestreo.

Tratamiento	ene-18	dic-18	abr-19	oct-19
T0	60 ± 88 B	11 ± 22	475 ± 492 B	1.890 ± 1.489 B
T1	1 ± 1 A	20 ± 40	130 ± 103 A	552 ± 435 A
T3	405 ± 280 B	292 ± 506	9.313 ± 4.597 B	1.479 ± 1.166 A
T4	65 ± 130 B	199 ± 361	373 ± 395A	708 ± 559 A

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En todos los tratamientos se observa una tendencia en la que *Paratylenchus* sp. aumenta en el tiempo, en tanto T1 (vegetación espontánea) nuevamente es el tratamiento con la menor población de nematodos. Por su parte, T3 (*Raphanus sativus*) presentó el mayor número de individuos en todas las fechas de medición, alcanzando un máximo en abril de 2019, siendo 70 veces mayor población en relación a T1. Al respecto, Aballay (2017) señala que el problema de incidencia de nematodos se ve disminuido cuando existe un mayor desarrollo de raíces, como lo que ocurre con un riego por surco, pero cuando se tiene un sistema de riego por goteo, que restringe el desarrollo radicular y lo confina al bulbo de mojamiento, la población de nematodos se concentra en un menor volumen de raíces y los problemas se acentúan. La alta incidencia de nematodos en T3 respondería así a ciclos poblacionales normales del nematodo, acrecentados por un manejo inadecuado del cultivo respecto a la variedad, fecha de cultivo y momento de incorporación.

Finalmente, en el Cuadro 20 se observan los valores para los nematodos no fitoparásitos, no existiendo diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 20. Valores promedio (Individuos/250 mL suelo) de nematodos no fitoparásitos para los cuatro tratamientos en cada una de las fechas de muestreo.

Tratamiento	Fecha				Promedio tratamiento
	ene-18	dic-18	abr-19	oct-19	
T0	1.600 ± 489	980 ± 300	923 ± 282	1.758 ± 538	1.315
T1	1.463 ± 447	291 ± 89	433 ± 133	1.815 ± 555	1.001
T3	2.375 ± 727	644 ± 197	823 ± 252	899 ± 275	1.185
T4	2.085 ± 638	425 ± 130	395 ± 121	1.049 ± 321	989
Promedio fecha	1.881 A	585 B	644 B	1.380 A	

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre fechas.

Se observa que solo existen diferencias estadísticamente significativas entre fechas, pero estas no están relacionadas en el tiempo o con alguna estación del año en especial; cabe aclarar que no existieron aplicaciones de nematicidas que pudiesen interferir con los resultados y la dinámica de las poblaciones en el tiempo.

En todos los tratamientos existen valores promedio de nematodos no fitoparásitos o nematodos de vida libre, cercanos a los 1.000 individuos/250 mL de suelo. Estos nematodos son parte del ecosistema suelo y contribuyen con los ciclos de nitrógeno y fósforo y, por ende, sobre su fertilidad (Satoshi *et al.*, 2008).

Evaluaciones en el viñedo

Se realizaron análisis foliares a partir de una muestra compuesta por tratamiento, resultados que se presentan en el Apéndice 7. Al no contar con repeticiones, no es posible realizar un análisis estadístico de estos resultados, pero se observan algunas variaciones durante la segunda temporada, como es el caso del nitrógeno amoniacal, que presentó un aumento, aunque no lo suficiente para estar en un rango normal, según los valores entregados por el laboratorio AGQ labs. En el caso de los cloruros, los valores disminuyeron en el tiempo, logrando estar dentro de rangos normales, según los parámetros entregados por AGQ labs y el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Silva y Rodríguez, 1995).

Los niveles de micronutrientes se presentaron en rangos normales, con excepción del Cu, que estaba en rangos bajos (Robinson, 2006), lo que de acuerdo a Duplay *et al.* (2014) es normal en suelos con cubierta vegetal, los cuales presentan menores concentraciones de Cu y por lo tanto menor absorción por parte del cultivo principal. Solo en la primera temporada, T2 y T5 favorecieron una mayor absorción de Cu, pero su efecto desapareció en la segunda temporada.

Las cubiertas vegetales han sido utilizadas para favorecer la disponibilidad de algunos micronutrientes. Es el caso del Fe en suelos calcáreos, donde el establecimiento de gramíneas aumenta su disponibilidad en el suelo debido a la exudación radical de fitosideróforos (quelatos naturales) (Baginsky *et al.*, 2010). Los micronutrientes son igualmente importantes que los macronutrientes, es solo que se necesitan en menores concentraciones. Es así como el Fe provee el potencial electroquímico para muchas de las transformaciones enzimáticas de la planta. Muchas de estas enzimas están involucradas en la síntesis de clorofila y, por lo

tanto, cuando existe deficiencia de Fe, la producción de clorofila disminuye (Havlin *et al.* 2017). Por su parte, el Cu está involucrado en la respiración y fotosíntesis, además de los procesos de transferencia de electrones, en tanto el Zn está presente en muchas actividades enzimáticas, así como también en la síntesis de clorofila. Al respecto, T5 (*Festuca ovina*) presentó los mayores niveles de Fe y Zn en ambas temporadas, en tanto T4 (*Sinapis alba*) presentó altos niveles de Zn la primera temporada y altos niveles de Fe en la segunda temporada, por lo que resulta interesante continuar estudiando sus impactos en la absorción de micronutrientes en la vid.

Adicional al estado nutricional de la planta, se midió la masa de la poda (Cuadro 21), lo que permite, dentro de otros parámetros, determinar el estado de vigor del viñedo.

Cuadro 21. Masa de poda (g/planta, promedio \pm DS) por tratamiento durante las dos temporadas de estudio.

Tratamiento	Masa de poda	
	Temporada 2018	Temporada 2019
	(g planta ⁻¹)	
T0	499 \pm 226	301 \pm 57 B
T1	450 \pm 187	303 \pm 96 B
T2	674 \pm 90	351 \pm 140 AB
T3	673 \pm 291	309 \pm 71 B
T4	715 \pm 243	434 \pm 89 A
T5	602 \pm 207	258 \pm 82 B

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Durante la primera temporada no se generaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, lo que cambia durante la segunda temporada, siendo T4 el tratamiento con mayor vigor y T5 el con menor peso de poda promedio. En el estudio de Seguel *et al.* (2011), con rotaciones de cultivos en un parrón de uva de mesa durante tres años, no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas con respecto al control sin cultivo de cobertura, aunque las masas de poda en promedio fueron mayores a 1 kg, dado el sistema de conducción de la vid (parrón). En el estudio de Acevedo-Opazo *et al.* (2010), bajo distintos regímenes de riego en una viña cv. Cabernet Sauvignon conducida en espaldera, igualmente se obtuvieron masas de poda mayores a 1 kg planta⁻¹, aunque en el cultivar Merlot se han reportado masas de poda inferiores a 0,7 kg planta⁻¹ (Munitz *et al.*, 2017). En un estudio realizado por Chou & Vanden Heuvel (2018), se obtuvo que la masa de poda disminuyó un 54% con el uso de festuca en comparación al tratamiento con glifosato, en un viñedo vigoroso de Cabernet franc, lo que no se pudo explicar completamente por la competencia de agua o nutrientes, por lo que pudieron existir otros factores, como los efectos alelopáticos.

En la cosecha se evaluó en la planta la masa total por racimo, el n° de bayas, su masa, y la masa del raquis (Cuadro 22).

Cuadro 22. Parámetros evaluados en la cosecha de las dos temporadas de estudio.

Tratamiento	Masa total de racimo	Nº bayas	Masa bayas	Masa raquis
Temporada 2018				
	(g)	--		(g)
T0	140 ± 40 ABC	171 ± 55,5	0,77 ± 0,15	9,5 ± 2,9
T1	118 ± 32 C	153 ± 38,3	0,72 ± 0,08	8,0 ± 2,1
T2	128 ± 34 BC	146 ± 32,9	0,82 ± 0,13	9,3 ± 2,9
T3	163 ± 43 AB	182 ± 26,9	0,85 ± 0,20	9,9 ± 2,5
T4	171 ± 33 A	171 ± 30,5	0,95 ± 0,19	10,4 ± 1,6
T5	174 ± 29 A	187 ± 41,1	0,89 ± 0,15	11,9 ± 1,9
Temporada 2019				
T0	331 ± 88 A	171 ± 55,5	1,69 ± 0,60 A	15,8 ± 4,2 A
T1	261 ± 58 A	162 ± 42,2	1,64 ± 0,56 A	14,5 ± 4,4 A
T2	176 ± 61 B	174 ± 50,2	0,96 ± 0,17 B	9,4 ± 4,3 B
T3	291 ± 99 A	145 ± 42,7	1,92 ± 0,23 A	13,7 ± 5,6 A
T4	312 ± 109 A	161 ± 44,6	1,85 ± 0,28 A	13,8 ± 5,1 A
T5	302 ± 100 A	148 ± 44,5	1,93 ± 0,20 A	15,5 ± 6,2 A

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontánea; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En la primera temporada, solo se observaron diferencias estadísticamente significativas en el peso total del racimo, siendo el tratamiento con vegetación espontánea (T1) el con menor peso y T4 y T5 con mayor peso total. Este resultado se puede explicar por la competencia de agua de la vegetación espontánea con el cultivo, pero esta situación no se observó la segunda temporada, siendo el tratamiento T2 el con menor peso total de racimo. En el estudio realizado por Chou y Vanden Heuvel (2018), el rendimiento por planta de vid no disminuyó en ninguno de los tratamientos con cultivo de cobertura en ningún año del estudio, cumpliendo el objetivo de disminuir el vigor de la viña y aumentar la calidad de la baya.

En la segunda temporada, el tratamiento T2 (Trafimax), si bien no generó el menor peso de poda, resultó en el tratamiento con menores pesos de baya y raquis. Dado que la competencia por agua y nutrientes no explica por sí solos el efecto de la disminución del vigor de la planta con el uso de CC, otros efectos, como por ejemplo los del tipo alelopáticos, deberán ser estudiados.

Finalmente, la masa de poda y la masa de cosecha permiten calcular el IR (Cuadro 23).

Cuadro 23. Índice Ravaz (IR) obtenido con masa poda 2018 y cosecha 2019.

Tratamiento	IR
T0	12,9
T1	10,9
T2	4,3
T3	7,0
T4	6,7
T5	9,4

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*.

Un IR menor a 4 indica que existe exceso de vigor en desmedro de la producción, siendo el tratamiento T2 el más cercano a este valor. Valores entre 4 y 7 indican un equilibrio productivo (tratamientos T3 y T4), en tanto valores de IR mayores a 7 indican que existe un exceso de producción (González *et al.*, 2017), correspondiendo en este caso a los tratamientos T0, T1 y T5. En este sentido, aquellos CC que se caracterizan por presentar un sistema radicular más profundo, generaron un viñedo más equilibrado, en tanto T2, con masas de poda intermedios pero baja masa de racimos denota una planta desequilibrada en su balance de tejido fotosintético y centros de acumulación de asimilados.

Aun cuando el presente estudio buscaba evaluar el uso de distintos CC en el manejo de un viñedo, se observa en prácticamente todos los análisis que mantener el suelo sin cubierta vegetal es la peor alternativa de manejo en un huerto frutal y que la vegetación espontánea (malezas), si son bien manejadas, son una muy buena alternativa para un manejo sustentable, aunque es necesario seguir profundizando respecto al funcionamiento de las especies tradicionalmente cultivadas como CC.

CONCLUSIONES

En el estudio del efecto de diferentes cultivos de cobertura (CC), contrastados con un testigo con control químico de malezas y la vegetación espontánea que crece en la viña, se obtuvieron resultados que dependen de la propiedad analizada:

El uso de CC no presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo en los resultados de densidad aparente. En el caso de los poros gruesos de drenaje, se observaron diferencias estadísticas en la segunda temporada, siendo el tratamiento con vegetación espontánea el con mejores resultados, aunque este mismo tratamiento generó la menor porosidad de agua aprovechable en el promedio de ambas temporadas. Para la evaluación de la estabilidad de microagregados, existieron diferencias significativas en la segunda temporada y nuevamente el tratamiento T1 presentó los valores de dispersión más bajos, pero en la estabilidad de macro agregados no existieron diferencias entre tratamientos y solo se obtuvieron diferencias entre profundidades (mayor estabilidad en superficie) en la segunda temporada.

Sinapis alba y *Festuca ovina* mostraron menores valores de resistencia a la penetración en superficie y en profundidad, respectivamente, en tanto el testigo presentó los mayores valores para evaluaciones con contenido de agua menor al óptimo. La conductividad hidráulica saturada presentó los mayores valores en T3 (*Raphanus sativus*) en el promedio de ambas temporadas ($3,78 \text{ cm h}^{-1}$), seguido por la vegetación espontánea ($3,63 \text{ cm h}^{-1}$), siendo el tratamiento sin vegetación (T0) el con el peor desempeño ($2,13 \text{ cm h}^{-1}$).

En el estudio realizado para evaluar las propiedades nematicidas de *Raphanus sativus* y *Sinapis alba*, no se obtuvieron los resultados esperados, pero la vegetación espontánea presentó un buen control sobre *Xiphinema index* y *Paratylenchus sp.* A nivel del cultivo de vid, el tratamiento con *Sinapis alba* generó el mayor peso de poda, en tanto la mezcla Trafimax generó los menores pesos de racimo, baya y raquis, denotando una planta poco equilibrada según el índice de Ravaz.

LITERATURA CITADA

- Aballay, E. y V. Insunza. 2002. Evaluación de plantas con propiedades nematocidas en el control de *Xiphinema index* en vid de mesa cv. Thompson Seedless en la Zona Central de Chile. *Agricultura Técnica* 62(3): 357-365.
- Aballay, E. 2017. No hay conciencia de los graves daños por nematodos en huertos de cerezos y manzanos. *Redagícola Chile*. <https://www.redagricola.com/cl/no-conciencia-los-graves-danos-nematodos-huertos-cerezo-manzano/>
- Abiven, S., S. Menasseri and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1-12.
- Acevedo-Opazo, C., S. Ortega-Farias and S. Fuentes. 2010. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 97: 956-964.
- Bachmann, J., K. Contreras, K.H. Hartge and R. MacDonald. 2006. Comparison of soil strength data obtained *in situ* with penetrometer and with vane shear test. *Soil & Tillage Research* 87: 112-118.
- Baginsky, C., O. Seguel y A. Contreras. 2010. Impacto de la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Universidad de Chile. Series Ciencias Agronómicas N°17.
- Baginsky, C., A. Contreras, J.I. Covarrubias, O. Seguel and E. Aballay. 2013. Control of plant-parasitic nematodes using cover crops in table grape cultivation in Chile. *Ciencia e Investigación Agraria* 40(3): 547-557.
- Berryman, C., D. Davies, C. Evans, M. Harrod, A. Hughes, R. Skinner, R. Swain and D. Soane. 1982. Techniques for measuring soil physical properties. Formerly Advisory Paper N°18. Reference Book 441. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Sweden.
- Botta, G.F., A. Tolon-Becerra, X. Lastra-Bravo and M. Tourn. 2010. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil & Tillage Research* 110: 167-174.
- Bowman, G., C. Shirley and C. Cramer. 2007. *Managing Cover Crops Profitably*. Third Edition. Handbook Series Book 9, Sustainable Agriculture Research and Education Editorial. USA.
- Bradford, J.M. 1986. Penetrability. p. 463-477. *In*: Klute, A.(ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1: Physical and mineralogical methods. Second edition, ASA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Brady, N and R. Weil. 2016. *The Nature and properties of soils*. Fifteenth edition. Pearson. Columbus, USA.
- Brunel-Saldías, N., I. Martínez, O. Seguel, C. Ovalle and E. Acevedo. 2016. Structural characterization of a compacted alfisol under different tillage systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16(3): 689-701.
- Casanova, M., E. Tapia, O. Seguel and O. Salazar. 2015. Direct measurement and prediction of bulk density on alluvial soils of central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 76: 105-113.
- Carrasco, J., J. Pastén, J. Riquelme, S. Felmer, G. Lemus. 2015. Subsulado en Frutales. Informativo INIA Rayentue, N°14.

- Casey, P.A. 2012. Plant guide for cereal rye (*Secale cereale*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Center, Elsberry, MO. (https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_sece.pdf).
- Chenu C., Y. Le Bissonnais and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1479-1486.
- Chou M.-Y. and J.E. Vanden Heuvel. 2018. Annual under-vine cover crops mitigate vine vigor in a mature and vigorous Cabernet franc vineyard. *American Journal of Enology Viticulture* 70: 98-108.
- CIREN. 1996. Estudio Agrológico Región Metropolitana. Centro de Información de Recursos Naturales. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Publicación N°115. Santiago, Chile.
- Crespy, A. 2007. Manual práctico de Fertilización. Calidad de los mostos y vinos. Collection Avenir Oenologie.
- Dane, J.H. and J.W. Hopmans. 2002. Water retention and storage. p. 671-796. *In*: Dane, J. H., Topp, G.C. (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. SSSA Book Serie Nr 5. Madison, Wisconsin, USA.
- Delpuech, X. and A. Metay. 2018. Adapting cover crop coverage to soil depth to limit competition for water in a Mediterranean vineyard. *European Journal of Agronomy* 97: 60-69.
- Dexter, A.R., R. Horn and W.D. Kemper. 1988. Two mechanisms for age-hardening of soil. *Journal of Soil Science* 39: 163-175.
- Dial, H.L. 2014. Plant guide for black oat (*Avena strigosa* Schreb.) USDA-Natural Resources Conservation Service, Tucson Plant Materials Center, Tucson, AZ, 85705. https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_avst2.pdf
- Dumas, J.B.A. 1831. *Procedes de l'analyse organique*. *Annals du Chemie et Physics*. 47:198-205.
- Duplay, J., K. Semhi, E. Errais, G. Imfeld, I. Babcsanyi and T. Perrone. 2014. Copper, zinc, lead and cadmium bioavailability and retention in vineyard soils (Rouffach, France): The impact of cultural practices. *Geoderma* 230-231: 318-328.
- Ellies A. 1995. Efecto del manejo sobre las propiedades físicas de suelos trumaos y rojos arcillosos. *Bosque* 16(2): 101-110.
- Faiguenbaum, H. 2003. *Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. Chile.
- Gao. W., C.W. Watts, T. Ren and W.R. Whalley. 2012. The effects of compaction and soil drying on penetrometer resistance. *Soil & Tillage Research* 125: 14-22.
- Gaudin A., S. Westra, C. Loucks, K. Janovicek, R. Martin and W. Deen. 2013. Improving resilience of Northern field crops systems using inter-seed red clover: A review. *Agronomy* 3: 148-180.
- González, M., I. Serra y M.P. Santibáñez. 2017. Ficha técnica. La poda invernal en las viñas. Centro de extensión Vitivinícola del Sur. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326782184_La_poda_invernal_en_las_vinas_Herramienta_para_lograr_buen_rendimiento_y_buena_calidad_de_uva
- Hao, H., Y. Wei, D. Cao, Z. Guo and Z. Shi. 2020. Vegetation restoration and fine roots promote soil infiltrability in heavy-textured soils. *Soil & Tillage Research* 198: 104542
- Hartge, K. und R. Horn. 2009. *Die physikalische Untersuchung von Böden*. Praxis, Messmethoden, Auswertung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

- Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale and W. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Hazelton, P. and Murphy, B. 2007. Interpreting soil test results; What do all the numbers mean? 2nd ed. CSIRO Publishing: Collingwood, Vic. Australia.
- Hillel, D. 1980. Fundamental of Soil Physics. Department of plant and soil science. University of Massachusetts. Amherst, Massachusetts. USA.
- Holzapfel, B., Quirk, L., Hutton, R. and Holland, J. 2011. Wine grape nutrition and use of fertilizers and other nutritional supplements to sustain production. https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/1158127/Winegrape-nutrition-and-fertiliser-application-for-sustainable-production.pdf
- Horn, R. and H. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil & Tillage Research* 102: 201-208.
- Ingels C., R. Buggs and F. Thomas. 1998. Cover Crop Species and Descriptions. p. 8-42. *In: Cover Cropping in Vineyards. A Grower's Handbook*. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3338.
- Jacobs, A. 2012. Plant Guide for oilseed radish (*Raphanus sativus* L.). USDA-Natural Resources Conservation Service, Booneville Plant Materials Center. Booneville, AR 72927.
- Jian J., B. Lester, X. Du, M. Reiter and R. Stewart. 2020. A calculator to quantify cover crop effects on soil health and productivity. *Soil & Tillage Research* 199: 104575.
- Jordán, A., L. Zavala and J. Gil. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77-85.
- Justes, E., N. Beaudoin, P. Bertuzzi, R. Charles, J. Constantin, C. Dürr, A. Joannon, C. Le Bas, B. Mary, F. Montfort, L. Ruiz, J.P. Sarthou, V. Souchère and J. Tournebize. 2017. Main Lessons Drawn from the Analysis of the Literature. p. 13-39. *In: Justes, E. (ed.) Cover Crops for Sustainable Farming*. Springer, Versailles, France.
- Kay, B.D., A.P. Da Silva, and J.A. Baldock. 1997. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: predictions using pedotransfer functions. *Canadian Journal of Soil Science*. 77:655-667.
- Keller, T., M. Sandin, T. Colombi, R. Horn and D. Or. 2019. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil & Tillage Research* 194:104293
- Kemper, W.D. and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. p. 425-442. *In: Klute, A. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition)*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, WI 53711, USA.
- Lal, R., A.A. Mahboubi and N.R. Fausey. 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of a Central Ohio soil. *Soil Science Society America Journal*. 58:517-522.
- Leibar, U., I. Pascual, A. Aizpurua, F. Morales, and O. Unamunzaga. 2017. Grapevine nutritional status and K concentration of must under future expected climatic conditions texturally different soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17(2): 385-397.
- Martínez, E., J. Fuentes and E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 8: 68-96.
- Martínez, I., C. Ovalle, A. del Pozo, H. Uribe, N. Valderrama, C. Prat, M. Sandoval, F. Fernández y E. Zagal. 2011. Influence of conservation tillage and soil water content on

- crop yield in dryland compacted Alfisol of Central Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71: 615-622.
- Martinez, I., N. Brunel, O. Seguel, C. Ovalle y E. Acevedo. 2018. Eficiencia del uso del agua en una rotación avena (*Avena sativa*)- trigo (*Triticum aestivum*) en un suelo Alfisol degradado. p.60- 65. *In*: Calvache, A. y A. Baque (eds). Tópicos en ciencia Agropecuaria. Cide, Guayaquil, Ecuador.
- Michel, L., V. Beyá-Marshall, A.D. Rombolà, C. Pastenes and J.I. Covarrubias. 2019. Evaluation of FE-heme Applications or Intercropping for Preventing Iron Deficiency in Blueberry. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 19, 117–126. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0017-9>
- Morra. M.J. and J.A. Kirkegaard. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated Brassica tissues. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1683:1690.
- Munitz, S., Y. Netzer and A. Schwartz. 2017. Sustained and regulated deficit irrigation of field-grown Merlot grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 23: 87-94.
- Pagenkemper, S., D. Uteau, S. Peth and R. Horn. 2014. Investigation of time dependent development of soil structure and formation of macropore networks as affected by various precrop species. *International Soil and Water Conservation Research* 2(2): 51-66.
- Pavek, P.L.S. 2012. Plant guide for pea (*Pisum sativum* L.). USDA-Natural Resources Conservation Service, Pullman, WA.
- Pérez L., H. Millán and M. González-Posada. 2010. Spatial complexity of soil plow layer penetrometer resistance as influenced by sugarcane harvesting: A prefractal approach. *Soil & Tillage Research* 110: 77–86.
- Prichard, T. 1998. Water use and infiltration. p. 86-90. *In*: Cover Cropping in Vineyards. A Grower's Handbook. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3338.
- Phatak, S. and Diaz-Perez, J. C. 2007. Managing Pests with Cover Crops. p. 25-33. *In*: Clark, A. (ed). Managing Cover Crops Profitably. Third Edition. SARE Editorial. United States of America.
- Ogle, D., M. Stannard, P. Scheinost, and L. St John. 2010. Plant guide for sheep fescue (*Festuca ovina* L.). USDA- Natural Resources Conservation Service, Idaho and Washington Plant Materials Program.
- Reynolds, W. 2006. Unsaturated hydraulic properties: Field tension infiltrometer p.1101-1121. *In*: Carter, M.R., E.G., Gregorich (Eds.): Soil Sampling and Methods of Analysis. (2nd Ed.). Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor and Francis Group. Florida, USA.
- Reynolds W.D., C.F. Drury, C.S. Tan, C.A. Fox and X.M. Yang 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* 152: 252-263.
- Robinson, J.B. 2006. Critical plant tissue values and application of nutritional standards for practical use in vineyards. p. 61-68. *In*: Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium, San Diego, California, USA, 29-30 Junio, 2004
- Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, y M. L. Mora. 2004. Métodos de Análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia y el Suelo. Santiago, Chile.

- Sandoval, M., J. Döner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Pub. N°5, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Sarrantonio, M. 2007. Building Soil Fertility and Tilth with cover crops. p.16-24 *In*: Managing Cover Crops Profitably. Third Edition. SARE Editorial. USA.
- Sarwar, M., y Kirkegaard, J. 1998 Biofumigation potential of brassicas. II. Effect of environment and ontogeny on glucosinolate production and implications for screening. *Plant and Soil* 201: 91-101.
- Satoshi, T., J. Sawada and Z. Moromizato. 2008. Nematicidal activity of Okinawa Island plants on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Plant and Soil* 303: 207-216.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0 Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. USA.
- Scholberg, J., S. Dogliotti, C. leoni, C. Cherr, L. Zotarelli and W. Rossing. 2010. Cover Crops for sustainable Agrosystems in the Americas. p.23-58 *In*: Lichtfouse, E. (ed.) Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming. Sustainable Agriculture Reviews 4. Springer, Dijon, France.
- Scow, K. and M. Werner. 1998. Soil Ecology. p. 69-79. *In*: Cover Cropping in Vineyards. A Grower's Handbook. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3338.
- Seguel, O., V. García de Cortázar y M. Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica* 63(3): 287-297.
- Seguel, O. and R. Horn. 2006. Structure properties and pore dynamics in aggregate beds due to wetting–drying cycles. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 169: 221-232.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J.I. Covarrubias, C. González and M. Sandoval. 2011. Changes in physical properties of a Typic Haplocambid by anual crop culture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11(1): 1- 15.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J.I. Covarrubias, C. González and L. Poblete. 2013. Physical properties of a fine textured haplocambid after three years of organic matter amendments management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(3): 690- 705.
- Seguel, O., E. Farías, W. Luzio, M. Casanova, I. Pino, A.M. Parada, X. Videla and A. Nario. 2015. Physical properties of soil after change use from native forest to vineyard. *Agrosur* 43(2): 29-39.
- Seguel, O. 2017 La compactación del suelo en sistemas agrícolas: ¿prevenir o curar? Redagrícola. <https://www.redagricola.com/cl/la-compactacion-del-duelo-sistemas-agricolas-prevenir-curar/>
- Seguel, O., D. Diaz, E. Acevedo, P. Silva, I. Homer and S. Seitz. 2020. Hydraulic conductivity in a soil cultivated with wheat- rapeseed rotation under two tillage systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20: 2304-2315.
- Seguel, O., V. Beyá-Marshall, B. Baeza. 2020. Uso de enmiendas para mejorar las condiciones físicas del suelo. p. 26-39. En: Optimización del riego en paltos y cítricos. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Silva, H., y J. Rodríguez. 1995. Fertilización de plantas frutales. Publicación de la Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile.
- Six, J., H. Bossuyt, S. Degryze and K. Denef. 2004. A history of research on the link between

- (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research* 79: 7-31.
- Snapp, S.S., S.M. Swinton, R. Labarta, D. Mutch, J.R. Black, R. Leep, J. Nyiraneza and K. O'Neil. 2005. Evaluating Cover Crops for Benefits, Costs and Performance within Cropping System Niches. *Agronomy Journal* 97: 322–332.
- St. John, L., D.G. Ogle, D. Tilley. 2010. Plant Guide for Strawberry Clover (*Trifolium fragiferum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Aberdeen, ID Plant Materials Center.
- Steenwerth, K. and K.M. Belina. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology* 40(2): 359-369.
- Steppuhn, H., M.Th. van Genuchten and C.M. Grieve. 2005. Root-zone salinity: II. Indices for tolerance in agricultural crops. *Crop Science*. 45: 221- 232.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soils Science* 33:141-163.
- Trükmann, K., E. Reintam, J. Kuht and V. Rääts. 2006. Growing of Mugwort (*Artemisa vulgaris* L), Canadian Thistle (*Cirsium arvense* L.) and Yellow Lupine (*Lupinus luteus* L.) on Compacted Soil. p. 362-369. *In*: R. Horn, H. Fleige, S. Peth, X. Peng (eds). *Soil management for Sustainability. Advances in Geoecology*. 38. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.
- Uribe, J.M., R. Cabrera, A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Usovich B. and J. Lipiec. 2009. Spatial distribution of soil penetration resistance as affected by soil compaction: The fractal approach. *Ecological Complexity* 6: 263-271.
- Valenzuela, A. 1991. Evaluación de nematodos en terrenos destinados a Huertos frutales. p 327. *En*: Manejo de Suelo en Huertos frutales. Publicaciones Misceláneas Agrícolas. Nº35. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Warrick, A.W. 2001. *Soil physics companion*. CRC Press. Boca Raton, USA.
- Westerdahl, B., E. Caswell-Chen, and R. Bugg. 1998. Nematodes. p. 113-125. *In*: *Cover Cropping in Vineyards. A Grower's Handbook*. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3338.
- Young-Mathews, A. 2013. Plant guide for crimson clover (*Trifolium incarnatum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Center, Corvallis, OR.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1024-1030.
- Zhang, P., T. Wei, Z. Jia, Q. Han and X. Ren. 2014. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China. *Geoderma* 230-231: 41-49.

APÉNDICES

Apéndice 1. Resumen fotográfico. Evaluación de cultivos cubierta, septiembre 2017.



Apéndice 2. Textura y clase textural del perfil de suelo

Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	%			
0-17	27,43	15,99	56,59	FA
17-40	26,15	15,99	57,86	FA
40-58	18,98	15,99	65,04	FAL
58-85	14,85	16,49	68,66	FAL
85-120	7,86	16,99	75,16	FAL

Apéndice 3. Resistencia a la penetración (kPa) \pm DS (Octubre 2017)

Resistencia a la penetración (kPa)						
Profundidad (cm)						
Tratamiento	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
T0	29 \pm 78	54 \pm 271	101 \pm 539	167 \pm 1.043	207 \pm 1.121	258 \pm 895
T1	31 \pm 158	77 \pm 628	240 \pm 1.710	412 \pm 1.235	470 \pm 565	463 \pm 602
T2	46 \pm 229	84 \pm 679	148 \pm 849	375 \pm 1.313	453 \pm 732	464 \pm 614
T3	31 \pm 246	50 \pm 168	130 \pm 1.016	265 \pm 1.372	367 \pm 1.433	425 \pm 723
T4	15 \pm 52	21 \pm 87	22 \pm 65	35 \pm 215	198 \pm 1.602	378 \pm 954
T5	70 \pm 435	130 \pm 1.096	218 \pm 1.246	371 \pm 1.005	420 \pm 936	420 \pm 862

Continuación Resistencia a la penetración (kPa)						
Profundidad (cm)						
Tratamiento	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60
T0	290 \pm 993	282 \pm 1.097	318 \pm 1.47	350 \pm 1.432	339 \pm 1.544	332 \pm 1.366
T1	449 \pm 708	415 \pm 814	419 \pm 798	417 \pm 929	409 \pm 807	363 \pm 829
T2	457 \pm 822	392 \pm 1.509	335 \pm 1.351	415 \pm 896	403 \pm 994	361 \pm 1.056
T3	420 \pm 806	426 \pm 671	425 \pm 781	431 \pm 859	433 \pm 934	486 \pm 278
T4	417 \pm 850	445 \pm 751	458 \pm 724	417 \pm 1.301	450 \pm 565	421 \pm 887
T5	402 \pm 933	344 \pm 842	328 \pm 908	291 \pm 1.156	323 \pm 1.097	377 \pm 836

T0: Suelo descubierto; T1: Suelo con vegetación espontaneas; T2: Trafimax; T3: *Raphanus sativus*; T4: *Sinapis alba*; T5: *Festuca ovina*.

Apéndice 4. Resistencia a la penetración (kPa) \pm DS (Mayo 2018)

Resistencia a la penetración (kPA)					
Profundidad (cm)					
Tratamiento	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
T0	428 \pm 363	1513 \pm 409	2.692 \pm 742	4.188 \pm 683	4.820 \pm 191
T1	538 \pm 222	1.293 \pm 450	1.375 \pm 368	1.405 \pm 128	2.019 \pm 950
Subsolado	90 \pm 8	216 \pm 12	318 \pm 67	278 \pm 111	287 \pm 66

Continuación: Resistencia a la penetración (kPA)					
Profundidad (cm)					
Tratamiento	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
T0	4742 \pm 303	4.890 \pm 183	4601 \pm 639	4.125	5.000
T1	2.633 \pm 1599	2.900 \pm 1426	3126 \pm 1157	3424 \pm 535	4165 \pm 1006
Subsolado	323 \pm 206	1.597 \pm 59	2856 \pm 1456	3308 \pm 934	4.759

Apéndice 5. Resistencia a la penetración vertical (kPa) \pm DS (Julio 2019)

Tratamiento	Resistencia a la penetración vertical (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	0-3	3-10	10 -20	20-30	30-40	40-50
T0	128 \pm 4	272 \pm 14	248 \pm 17	207 \pm 32	237 \pm 39	303 \pm 12
T1	77 \pm 16	178 \pm 21	192 \pm 1	209 \pm 8	196 \pm 23	220 \pm 34
T2	55 \pm 9	160 \pm 53	183 \pm 60	185 \pm 46	194 \pm 20	211 \pm 23
T3	77 \pm 16	208 \pm 2	229 \pm 67	179 \pm 31	190 \pm 56	218 \pm 29
T4	85 \pm 22	166 \pm 30	199 \pm 50	175 \pm 54	183 \pm 54	208 \pm 78
T5	84 \pm 21	227 \pm 81	220 \pm 64	178 \pm 45	168 \pm 51	207 \pm 20

Apéndice 6. Resistencia a la penetración horizontal (kPa) \pm DS (Julio 2019)

Tratamiento	Resistencia a la penetración horizontal (kPa)					
	Profundidad (cm)					
	0-3	3 -10	10 -20	20- 30	30- 40	40 -50
T0	43 \pm 10	81 \pm 11	98 \pm 20	100 \pm 3	106 \pm 15	114 \pm 22
T1	24 \pm 9	51 \pm 3	72 \pm 4	84 \pm 8	91 \pm 11	91 \pm 9
T2	22 \pm 14	51 \pm 10	74 \pm 18	90 \pm 18	88 \pm 13	94 \pm 10
T3	19 \pm 4	66 \pm 15	85 \pm 4	83 \pm 8	102 \pm 7	105 \pm 15
T4	28 \pm 7	60 \pm 16	82 \pm 22	90 \pm 21	80 \pm 12	81 \pm 3
T5	27 \pm 15	64 \pm 14	91 \pm 25	92 \pm 29	100 \pm 26	92 \pm 25

Apéndice 7. Resultado análisis foliares durante las dos temporadas de estudio.

	Análisis foliares 2018					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
N amoniacal (mg/kg)	<150	<150	<150	<150	<150	<150
N Nítrico (mg/kg)	<100	<100	<100	<100	<100	<100
N total (%)	2,53	2,47	2,45	2,35	2,21	2,25
P (%)	0,12	0,11	0,14	0,13	0,12	0,12
K (%)	0,90	1,09	1,06	0,99	1,03	1,12
Ca (%)	2,90	2,78	2,98	3,08	3,09	3,01
Mg (%)	0,42	0,40	0,43	0,46	0,44	0,44
S (%)	0,23	0,21	0,36	0,27	0,25	0,36
Fe (mg/kg)	147	200	227	173	195	261

