



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE  
AGUACATE HASS (*Persea americana*): ESTUDIO DE CASO LOS TILOS,  
REGIÓN DE VALPARAISO, CHILE**

**Characterization of Hass avocado (*Persea americana*) productive system:  
study case in Los Tilos, Valparaíso Region, Chile**

Actividad Formativa equivalente a Tesis (AFET) para optar al grado de Magíster  
en Manejo de Suelos y Aguas

**JAIRO SARASTY BRAVO**  
Ingeniero Agroforestal

Director de tesis  
Oscar Seguel Seguel

Profesores consejeros  
Osvaldo Salazar Guerrero  
Marco Garrido Salinas

Profesor Evaluador Externo  
Jorge Fernando Navia Estrada

Santiago, Chile  
2022

# UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Agronómicas

Escuela de Postgrado

## **CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE AGUACATE HASS (*Persea americana*): ESTUDIO DE CASO LOS TILOS, REGIÓN DE VALPARAISO, CHILE**

### **Characterization of Hass avocado (*Persea americana*) productive system: study case in Los Tilos, Valparaíso Region, Chile**

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

Calificaciones

#### DIRECTOR DE TESIS

Oscar Seguel Seguel  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

7,0

#### PROFESORES CONSEJEROS

Oswaldo Salazar Guerrero  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

6,8

Marco Garrido Salinas  
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

6,7

#### PROFESOR EVALUADOR EXTERNO

Jorge Fernando Navia Estrada  
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Santiago, Chile  
2022

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme culminar una etapa más como profesional, a mi madre que desde el cielo siempre ha estado conmigo en todo momento, brindándome el valor de seguir adelante cada día y luchar por mis sueños. A mi padre, mi Chepito, por estar siempre a mi lado, por su incondicional apoyo en todo momento y con quién espero compartir todos mis logros, disfrutar cada momento y que pasemos mucho más tiempo en familia.

A mi hermana Sonia, mi hermano Roberth, mi cuñada Sol y mi cuñado Milton, por estar siempre unidos en todo momento en torno a nuestra familia, por el apoyo constante en todo momento, por brindarme la alegría de compartir el cariño de mis sobrinos y el amor de sus familias. A mis amores, Vivi y Danielito, por ser parte de mi vida, por brindarme en todo momento su compañía y amor, así como por compartir todos los buenos y malos momentos juntos a pesar de la distancia, por ser siempre ese apoyo incondicional e infinito.

Al profesor Oscar Seguel, por permitirme trabajar junto a él y aprender cada día en este proceso de formación profesional, por transmitir su gran y valioso conocimiento, pero por sobre todo, por su valiosa amistad. Gracias por las salidas a terreno junto al profesor Mauricio Galleguillos, Eli, Lucas y Marcelo, de las cuales me llevo las mejores experiencias y recuerdos, y principalmente haber tenido la oportunidad de aprender y reforzar mis conocimientos en terreno.

A don Hugo Pérez y Ayleen por su colaboración y apoyo en laboratorios, a mis amigos Héctor, William y Diana, mis compatriotas que fueron un gran apoyo y valiosa compañía durante mi estadía en Chile, a toda la familia Araya, especialmente doña Chelita, por acogerme en su casa durante estos dos años y haber compartido en convivencia juntos.

A la Fundación Somos Agua, por brindarme el apoyo y financiación para realizar mi proyecto de tesis en su Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada los Tilos, en la comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso, con un acompañamiento permanente, especialmente de Andrés Robles, su director, quien siempre estuvo en cada terreno y apoyo en campo, a todo el equipo de trabajo de Ensenada Los Tilos, Jonathan, Jesús, Helen, don Ruben, don Carlos y todos sus trabajadores, un cordial saludo y agradecimiento a cada uno.

Al profesor Jorge Navia, de la Universidad de Nariño en Colombia, quién me ha acompañado desde un comienzo en este proceso formativo como acompañante regional, por su apoyo, amistad y buenos consejos, así como también por hacer parte del comité evaluativo de mi tesis. Finalmente, gracias al proyecto *“Formación del talento humano de alto nivel para el fortalecimiento de necesidades estratégicas de CTel del Departamento de Nariño”* que busca fortalecer las capacidades de Ciencia, Tecnología e Innovación en el Departamento de Nariño, en Colombia, que a través de la beca Becate Nariño, manejada por la Fundación CEIBA y la Gobernación de Nariño, ha financiado mis estudios de magister y estadía en la república de Chile.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
Fruticultura bajo sistemas de monocultivos en Chile.....	3
Los manejos basados en principios de la agroecología.....	5
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	7
Hipótesis.....	7
Objetivo general .....	7
Objetivos específicos .....	7
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	8
Área de estudio.....	8
Tratamientos y diseño experimental.....	9
Método .....	9
Revisión fuentes secundarias .....	10
Diagnóstico .....	10
Fase de campo.....	10
Muestreo y caracterización de suelo.....	13
Fase de laboratorio.....	14
Diseño de alternativas de manejo productivo agroforestal .....	15
Análisis estadístico .....	16
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	17
Diagnóstico biofísico.....	17
Requerimientos del cultivo de aguacate .....	17
Clima y riego. ....	17
Suelo. ....	18
Nutricionales.....	18
Caracterización florística.....	19
Inventario florístico.....	19
Caracterización del suelo.....	21
Textura.....	21
Densidad aparente.....	22
Densidad real .....	24
Distribución de tamaño de poros .....	24
Conductividad hidráulica.....	28
Resistencia a la penetración.....	30
Estabilidad de microagregados .....	31
Propiedades químicas .....	32
Parámetros biológicos.....	35
Asociaciones observadas para las variables físicas del suelo.....	37
Asociaciones observadas para las variables químicas del suelo .....	39
Alternativas de manejo productivo agroforestal .....	41
Selección de especies.....	42
Diseño de sistemas agroforestales .....	42
Preparación del terreno .....	45

Elección de material vegetal .....	46
Método de siembra y plantación .....	46
Protección de los árboles .....	47
Manejo agroecológico.....	47
<b>CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	49
<b>APÉNDICES</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	74

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Tratamientos con el detalle de uso y manejo.

**Cuadro 2.** Inventario florístico.

**Cuadro 3.** Valores de diversidad de especies por tratamientos.

**Cuadro 4.** Detalle de la proporción de arenas, arcillas y limos (promedio  $\pm$  DS) con su respectiva clase textural para la profundidad 1 (0-15cm) y porcentaje de fracción gruesa por tratamiento (partículas  $>2\text{mm}$ ).

**Cuadro 5.** Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ , promedio  $\pm$  DS) de los cuatro tratamientos en las tres profundidades evaluadas.

**Cuadro 6.** Densidad real ( $\text{Mg m}^{-3}$ , promedio  $\pm$  DS) para los diferentes tratamientos en tres profundidades evaluadas.

**Cuadro 7.** Contenido (% promedio  $\pm$  DS) de poros de drenaje rápido (PDR,  $>50\mu\text{m}$ ), poros de drenaje lento (PDL,  $10\text{-}50\mu\text{m}$ ) y poros de agua útil (PAU,  $0,2\text{-}10\mu\text{m}$ ) de los distintos tratamientos a tres profundidades de muestreo.

**Cuadro 8.** Conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ,  $\text{cm/h}^{-1}$ ) para los distintos tratamientos.

**Cuadro 9.** Resistencia a la penetración RP (kPa) (promedio  $\pm$  DS) en función de la profundidad para los distintos tratamientos a diferentes profundidades.

**Cuadro 10.** Valores promedio ( $\pm$  DS) de relación de dispersión (RD) para los diferentes tratamientos a tres profundidades de evaluación.

**Cuadro 11.** Propiedades químicas y concentración de nutrientes en el suelo para los diferentes tratamientos evaluados a dos profundidades de muestreo.

**Cuadro 12.** Macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el mes de mayo (otoño) y noviembre (primavera) de 2021.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Ubicación predio Ensenada los Tilos, Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso, superficie total 1.200 ha.

**Figura 2.** Curva característica de humedad del suelo en la profundidad 2 (15-30 cm).

**Figura 3.** Conductividad hidráulica no saturada ( $K_{ns}$ ) a cuatro tensiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa).

**Figura 4.** Análisis de componentes principales de los tratamientos para la profundidad 0-15cm, donde: 0, 60, 330, 1500 (retención de humedad en kPa); Da es la densidad aparente; Dr es la densidad real; PDR son los poros de drenaje rápido; PDL son los poros de drenaje lento; PAU son los poros de agua útil; RD es la relación de dispersión; MO es la materia orgánica del suelo; RP es la resistencia a la penetración (kPa); % a es contenido de arenas; % A es contenido de arcillas y % L es contenido de limos.

**Figura 5.** Análisis de componentes principales de los tratamientos para la profundidad 15-30cm, donde: 0, 60, 330, 1500 (retención de humedad en kPa); Da es la densidad aparente; Dr es la densidad real; PDR son los poros de drenaje rápido; PDL son los poros de drenaje lento; PAU son los poros de agua útil; RD es la relación de dispersión; MO es la materia orgánica del suelo; RP es la resistencia a la penetración (kPa); % a es contenido de arenas; % A es contenido de arcillas y % L es contenido de limos.

**Figura 6.** Análisis de componentes principales de los tratamientos para la profundidad 30-60cm, donde: 0, 60, 330, 1500 (retención de humedad en kPa); Da es la densidad aparente; Dr es la densidad real; PDR son los poros de drenaje rápido; PDL son los poros de drenaje lento; PAU son los poros de agua útil; RD es la relación de dispersión; MO es la materia orgánica del suelo; RP es la resistencia a la penetración (kPa); % a es contenido de arenas; % A es contenido de arcillas y % L es contenido de limos.

**Figura 7.** Análisis de componentes principales de los tratamientos para la profundidad 0-30cm, donde: pH es acidez o alcalinidad del suelo; CE es conductividad eléctrica; N es nitrógeno; P es fosforo; K es potasio; Fe es hierro; CIC es capacidad de intercambio catiónico y MOS es materia orgánica del suelo.

**Figura 8.** Análisis de componentes principales de los tratamientos para la profundidad 30-60cm, donde: pH es acidez o alcalinidad del suelo; CE es conductividad eléctrica; N es nitrógeno; P es fosforo; K es potasio; Fe es hierro; CIC es capacidad de intercambio catiónico y MOS es materia orgánica del suelo.

**Figura 6.** Diseño sistema agroforestal 1, cultivo en callejones de aguacate con especies nativas en el sector C del predio Ensenada Los Tilos.

**Figura 7.** Diseño sistema agroforestal 2, cultivo en callejones de aguacate con especies nativas distribuido en cuatro cuarteles, sector D del predio Ensenada Los Tilos.

## ÍNDICE DE APÉNDICES

- Apéndice 1.** Descripción morfológica de los perfiles de suelo.
- Apéndice 2.** Inventario florístico con la respectiva frecuencia, abundancia y estado de vulnerabilidad por cada especie.
- Apéndice 3.** Textura para la profundidad 2 (15-30cm) y profundidad 3 (30-60cm).
- Apéndice 4.** Curvas de retención de agua
- Apéndice 5.** Valores promedio de conductividad hidráulica no saturada superficial ( $\text{cm h}^{-1}$ ) medida a cuatro presiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa) mediante el método del minidisco infiltrómetro (Reynolds, 2006).
- Apéndice 6.** Resistencia a la penetración.
- Apéndice 7.** Resultados de macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el periodo de mayo (otoño) y noviembre (primavera) de 2021.
- Apéndice 8.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 0-15cm para los 6 tratamientos evaluados.
- Apéndice 9.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 15-30cm para los 6 tratamientos evaluados.
- Apéndice 10.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 30-60cm para los 6 tratamientos evaluados.
- Apéndice 11.** Matriz de correlaciones para las variables químicas en la profundidad de 0-30cm para los 6 tratamientos evaluados.
- Apéndice 12.** Matriz de correlaciones para las variables químicas en la profundidad de 30-60cm para los 6 tratamientos evaluados.
- Apéndice 13.** Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 1.
- Apéndice 14.** Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 2.
- Apéndice 15.** Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 3.
- Apéndice 15.** Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 4.

## ANEXOS

- Anexo 1. Peumo
- Anexo 2. Guayacán
- Anexo 3. Mayú
- Anexo 4. Quillay
- Anexo 5. Quebracho
- Anexo 6. Chequén
- Anexo 7. Maqui
- Anexo 8. Lingue
- Anexo 9. Herbáceas

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en la Región de Valparaíso ( $32^{\circ}46'43,31''\text{S}$  -  $71^{\circ}4'1,90''\text{O}$ ), Chile central, en diferentes sistemas de manejo de aguacate (palto) (T1: monocultivo; T2: aguacate asociado a Guayacán; T3: aguacate asociado a Peumo; T4: bosque nativo). Se identificaron variables biofísicas, bióticas y tecnológicas; además, se analizaron propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos a distintas profundidades; finalmente, se analizaron las variables del componente florístico, a través de la diversidad, abundancia y frecuencia de las especies acompañantes de los sistemas de producción. Los resultados en las propiedades físicas de suelo mostraron valores de densidad aparente significativamente mayores en T1 y T4 respecto al resto de los tratamientos, junto a una baja estabilidad de agregados en T1, en tanto el guayacán en asocio con aguacate presentó un bajo contenido de agua aprovechable y la mayor conductividad hidráulica; los valores de resistencia a la penetración presentaron interacción tratamiento x profundidad y están asociados a la alta pedregosidad en T2 y T4, los cuales también presentaron los agregados más estables al agua. Respecto a las variables químicas, T1 presentó los menores niveles de materia orgánica y CIC entre 0-30 cm de profundidad, en tanto Guayacán en asocio con aguacate, se destacó por altos niveles de CE y altos contenidos de macronutrientes, resultados que se mantienen en el rango de 30-60 cm de profundidad. Finalmente, T4 presentó una alta riqueza y diversidad florística, en tanto la macrofauna mostró la mayor abundancia y diversidad en época de primavera junto al aguacate asociado a Guayacán, destacándose la presencia de lombrices y chanchitos de tierra. Con este trabajo se espera contribuir al conocimiento, fortalecimiento y desarrollo del cultivo de aguacate, con una mirada integral en su función ecológica y ambiental.

**Palabras claves:** Propiedades del suelo, monocultivo, producción sustentable, sistemas agroforestales.

## ABSTRACT

The present study was developed in the Valparaíso Region (32°46'43.31"S - 71°4'1.90"W), central Chile, in different avocado management systems (T1: monoculture; T2: avocado associated with Guayacán; T3: avocado associated with Peumo; T4: native forest). Biophysical, biotic and technological variables were identified; in addition, physical, chemical and biological properties of the soils at different depths were analyzed; finally, the variables of the floristic component were analyzed, through the diversity, abundance and frequency of the accompanying species of the production systems. The results in the physical properties of the soil showed significantly higher bulk density values in T1 and T4 compared to the rest of the treatments, and a low stability of aggregates in T1, while the guayacán in association with avocado showed a low available water and the highest hydraulic conductivity. Penetration resistance showed treatment x depth interaction and are associated with high stoniness in T2 and T4, which also presented the highest aggregate stability. Regarding the chemical variables, T1 presented the lowest levels of organic matter and CIC between 0-30 cm depth, while Guayacán, in association with avocado, stood out for high levels of EC and high contents of macronutrients, results that remain in the range of 30-60 cm deep. Finally, T4 presented a high floristic richness and diversity, while the macrofauna showed the greatest abundance and diversity in spring together with the avocado associated with Guayacán, highlighting the presence of worms and earthworms. With this work it is expected to contribute to the knowledge, strengthening and development of avocado cultivation, with a comprehensive view of its ecological and environmental function.

**Keywords:** Soil properties, monoculture, sustainable production, agroforestry systems.

## INTRODUCCIÓN

### **Fruticultura bajo sistemas de monocultivos en Chile**

Chile es uno de los países con alto potencial en la producción de frutas en el hemisferio sur, sin embargo, los indicadores de pobreza rural y de degradación ambiental se agravan, ya que el modelo de producción agrícola se caracteriza por la privatización del recurso estratégico más importante para la producción de alimentos: el agua (Mundaca, 2015). Por otra parte, el aumento de la dinámica de producción y circulación agrícola implica, además, un proceso de pérdida de la biodiversidad, emisión de gases de efecto invernadero y degradación de los suelos (Panez-Pinto *et al.*, 2018).

Dentro del contexto de la productividad, cabe señalar que la superficie frutícola en Chile alcanzó las 321.000 ha en 2018, con un crecimiento del 29% respecto al año 2008, representando un área importante de crecimiento en la última década. La superficie total plantada de frutales sigue siendo liderada por la uva de mesa, con 14,9 % del total; le siguen nogales con 11,5%, manzanos con 10,6%, cerezos con 9,4% y aguacate con 9% (ODEPA, 2019), siendo este último uno de los productos de mayor importancia económica, principalmente en la zona central de Chile. El sector frutícola produce cerca de 5 millones de toneladas de frutas, de las cuales las exportaciones representan más del 60% del total de la producción frutícola nacional, generando más de USD 4.000 millones anualmente (ODEPA, 2020).

Por otro lado, la necesidad de expansión de áreas agrícolas ha generado el reemplazo de bosques nativos autóctonos por monocultivos con diferente resistencia a la sequía (Seguel *et al.*, 2015). Estos se caracterizan por ser sistemas uniformes y de alto rendimiento, lo cual ha llevado no sólo a la destrucción de la biodiversidad local, sino que ha contribuido también a la pérdida y degradación de recursos vitales como el agua y los suelos, favoreciendo la desertificación y procesos de erosión, además de generar pérdida de la capacidad productiva de los terrenos, mayor presión de plagas y enfermedades, cambios en la población de malezas y mayor riesgo por contaminación con plaguicidas (Cobello, 2014; Nario *et al.*, 2018).

Estos factores, sumados a la pérdida gradual de la cobertura vegetal del suelo, generan una transformación constante de los sistemas ecológicos, en que la cobertura vegetal natural tiende a disminuir de una manera muy sutil y lenta (Álvarez y Agredo, 2012). Además, los cambios en el uso del suelo en las regiones mediterráneas se han caracterizado durante años por enfocarse en monocultivos, perdiendo biodiversidad, aumentando el riesgo de erosión, degradando gradualmente la estructura del suelo, disminuyendo la materia orgánica del suelo (MOS) y perdiendo nutrientes, entre otros (Schulz *et al.*, 2010).

El desarrollo del sector agropecuario chileno, desde mediados del siglo XX, trajo como consecuencias la tala de los bosques y la eliminación de la vegetación nativa para establecer cultivos o crianza de ganado, dado que los árboles eran considerados un estorbo para la

producción agrícola y pecuaria (Lara *et al.*, 2012), lo cual llevó a una degradación de los suelos (Bonilla y Johnson, 2012). Es en este contexto que los sistemas agroforestales, entendidos como la combinación deliberada de especies leñosas, praderas, cultivos y/o animales en un mismo sitio con fines productivos o ambientales, se presentan como una forma y oportunidad de protección y recuperación de suelos, y como alternativas de producción integrada con componentes forestales, pecuarios y agrícolas en un mismo terreno (Sotomayor y Barros, 2016).

Por otra parte, la agricultura intensiva que desarrollan países como Chile, presenta prácticas de sobre fertilización (Nájera *et al.*, 2015) y un serio riesgo de compactación y erosión, al transitar el suelo con altos contenidos de agua (Seguel *et al.*, 2018). Por tal motivo, es importante hacer un muestreo y estudio de suelos para poder generar planes de fertilización y manejos adecuados de acuerdo al tipo de suelo y al potencial productivo del cultivo, con adaptaciones tecnológicas que le den sustentabilidad a los sistemas de producción de aguacate. De ahí la importancia del diseño de sistemas productivos sustentables, que consideren a los suelos como pilar fundamental de la base de producción, basados en manejos que permitan la funcionalidad física y el aporte a los servicios ecosistémicos del suelo (Rockström *et al.*, 2017). Se entiende por servicios ecosistémicos el hecho de que es el ecosistema, es decir el conjunto de organismos, condiciones abióticas y sus interacciones, el que permite que los seres humanos se vean beneficiados (Balvanera y Cotler, 2007).

La Región de Valparaíso, en la zona central de Chile, se destaca por poseer una superficie frutícola que al año 2020 alcanzó las 49.051 ha, destacándose el aguacate (*Persea americana*) como la especie más cultivada, con 20.317 ha, registrando un alza del 6,2% respecto al año 2017 (CIREN y ODEPA, 2020). Entre las comunas con mayor superficie plantada destacan: Cabildo, en la Provincia de Petorca, con 3.001 ha; Santo Domingo, en la Provincia de San Antonio, con 2.692 ha; Hijuelas y Quillota, en la Provincia de Quillota, con 2.504 ha y 1.866 ha respectivamente, y Llay Llay, en la Provincia de San Felipe, con 1.852 ha, en su mayoría plantaciones constituidas por monocultivos de exportación (CIREN y ODEPA, 2020).

De acuerdo con CIREN y ODEPA (2020), la superficie plantada de aguacate a nivel nacional alcanza las 30.143 ha, por lo que la Región de Valparaíso concentra el 67,4% del total nacional. Estas mismas instituciones señalan que Valparaíso cuenta con una superficie de aguacates en edad de producción de 18.299 ha y una producción de 158.051 t, de las cuales el 67,2 % son para exportación y el 32,7% se destina al consumo interno; las variedades más cultivadas y que cuentan con una mayor demanda, tanto en mercados internacionales como locales, son Hass (16.689 ha), Edranol (995 ha), Negra de la Cruz (206 ha) y Fuerte (198 ha), siendo la variedad Hass la más representativa, con el 92,2% del total de la superficie, representando también un 71,4% del total de exportación .

Al estar toda la superficie agrícola en uso, las plantaciones de aguacate o palto se han establecido en suelos que originalmente tenían vegetación nativa, por lo general en pendiente, acelerando los procesos de erosión (Youlton *et al.*, 2010). Por otra parte, el aguacate es un cultivo que se caracteriza por un alto consumo hídrico (Novoa *et al.*, 2019), con consumos anuales de agua por sobre los 7.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en relación a los poco más de 1.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de la vegetación esclerófila, lo que genera una alta huella hídrica en relación a la vegetación nativa

(Osorio, 2013), además de conflictos por el uso del agua para otros fines, entre otros, el consumo humano (Muñoz-Duque *et al.*, 2020).

En los últimos años, la Región ha sido afectada por una gran sequía, lo que ha llevado a cuestionar la actividad agrícola del lugar debido al alto uso-consumo del agua por parte de los cultivos, muchas veces mediado por malas prácticas de riego (Callejas *et al.*, 2014). En particular, las plantaciones de aguacate Hass han sido cuestionadas, dado su alto consumo hídrico y por el uso desmedido de este recurso por satisfacer la demanda de los frutales, generando fuertes disminuciones de la disponibilidad de agua en las cuencas, incluso con restricciones severas para el consumo doméstico (Voller, 2017).

Ante la necesidad de conocer e implementar nuevas tecnologías y conocimientos en el establecimiento y manejo para el cultivo de aguacate Hass, surge este proyecto de investigación, como herramienta de adquisición de conocimiento y de formulación y establecimiento de nuevas alternativas productivas, lo cual permitirá la transferencia de nuevos conocimientos en asistencia técnica agropecuaria, así como la generación y replicación de sistemas productivos modelos, que contribuyan apoyando la implementación de iniciativas productivas con enfoque diferencial.

### **Los manejos basados en principios de la agroecología**

Actualmente se están buscando sistemas de producción más sostenibles en relación al manejo de monocultivos con enfoque de agricultura tradicional, utilizando mejor los recursos y con la mínima intervención del paisaje natural de la zona (Sotomayor y Barros, 2016). Un tipo de sistema es el agroforestal, donde la siembra de los cultivos y plantación de árboles forestales se encuentran secuencialmente y en combinación con la aplicación de prácticas de conservación de suelo, emulando la inteligencia simbiótica de la naturaleza y la sucesión ecológica (Krishnamurthy y Ávila, 1999). Al respecto, se ha visto que el manejo agroforestal con cosecha de agua favorece la acumulación de MOS en el perfil del suelo, con importantes incrementos en el contenido y disponibilidad de nutrientes (Casanova *et al.*, 2012). Esto favorece la presencia y acumulación de macrofauna, que es considerada un indicador biológico sensible de los impactos del uso del suelo en la calidad edáfica y un componente esencial en el servicio ecosistémico de los sistemas productivos agroecológicos (Rousseau *et al.*, 2013).

La agroforestería debe ser considerada como un conjunto de estrategias que permitan un sistema de uso sostenible de la tierra (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Casanova *et al.*, 2006); por esto, es importante proponer sistemas productivos en que el cultivo de aguacate Hass establecido en asociación con otras especies, resulte una alternativa para contrarrestar los efectos negativos de la agricultura tradicional, dado que engloba aspectos naturales, sociales, productivos y ecológicos, imprescindibles para un equilibrio natural, que se deben evaluar y caracterizar (Pérez *et al.*, 2015). Al respecto, el asocio del frutal con especies nativas debiese propender a favorecer los servicios de almacenamiento y suministro de agua por parte del

suelo, en conjunto con incrementar la biodiversidad, capturar carbono (C) y fomentar el aporte y reciclaje de nutrientes.

En el caso de la zona central de Chile, el Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada Los Tilos, en la Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso, perteneciente a la Fundación Somos Agua, se destaca por generar una producción de *Persea americana* Mill cv. Hass con enfoque por el cuidado ambiental e hídrico de la zona, dada la importancia estratégica del recurso y con el objetivo de hacer cada vez más sostenible las distintas fases productivas, para no afectar la biodiversidad y optimizar el consumo hídrico. La Fundación desarrolla actividades de investigación y divulgación, con un claro enfoque de inserción territorial con las comunidades agrícolas y los sectores empresariales y políticos, como estrategia de cambio positivo en los sistemas de producción silvoagropecuarios, más aún en el sector en que se emplaza, rodeado de cerros que aseguran la provisión hídrica y la biodiversidad ecosistémica del secano central de Chile.

Dentro de las prácticas que se han adoptado en el centro de investigación, se destaca el uso de especies nativas integradas al huerto de aguacate, con un alto potencial de convertirse en el futuro en una práctica agroecológica, donde sobresalen especies como el guayacán (*Porlieria chilensis*) y peumo (*Cryptocarya alba*). Estas especies aportan beneficios a los sistemas productivos, los cuales están basados en los principios de la agroecología, como son la integración de los sistemas agrícolas a los sistemas locales, conservación de los recursos suelo y agua, reciclaje de nutrientes, mejorar y mantener el contenido de MOS, minerales y la actividad biológica en el suelo, entre otros; de aquí la importancia de incluir al bosque esclerófilo como factor de comparación de las condiciones iniciales de estos sistemas.

Estas prácticas agroecológicas constituyen un manejo sostenible del suelo, debiendo reflejarse en indicadores físicos como la densidad aparente (Da), la estabilidad estructural, la porosidad total, los poros gruesos de aireación, el agua aprovechable y la conductividad hidráulica, entre otros (Casanova *et al.*, 2020). Además, debiese verse reflejado en una mayor diversidad de organismos asociados al reciclaje de nutrientes y en un incremento de la MOS (Casanova *et al.*, 2012), factores importantes para el manejo sostenible de los agroecosistemas y las funciones ecosistémicas del suelo. Sin embargo, el diseño propuesto por la Fundación Somos Agua es innovadora y única en Chile, por lo que no se tienen antecedentes de sus efectos concretos sobre el recurso suelo.

Estos aspectos hacen que el predio en la Ensenada los Tilos tenga un importante potencial como productor de aguacate de alta calidad y sustentable con el medio ambiente, por lo cual fue declarado como Reserva de la Biósfera en el año 2009, como iniciativa propia de la Fundación. Por lo tanto, surge esta investigación, debido a la necesidad de adquirir y generar nuevos conocimientos y estrategias que ayuden a la replicación de sistemas productivos sostenibles, rentables y diversificados, que permitirán solucionar problemáticas potenciales a partir del uso integrado de los recursos, particularmente agua, suelo y biodiversidad. Mediante la información obtenida, se logrará generar planes de transición que ayuden a avanzar hacia una producción sustentable y proponer alternativas de mejoramiento hacia una agricultura menos extractiva y más conservacionista.

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### Hipótesis

El sistema productivo estudiado, con inclusión de especies nativas dentro del huerto frutal, aportará positivamente a los servicios ecosistémicos del suelo en relación al manejo convencional de monocultivo de aguacate en la Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso.

### Objetivo general

Caracterizar el sistema productivo de aguacate (*Persea americana*, var. Hass) bajo manejos convencional y agroecológico en la ensenada los Tilos, zona central de Chile y analizar su efecto en los componentes suelo y agua.

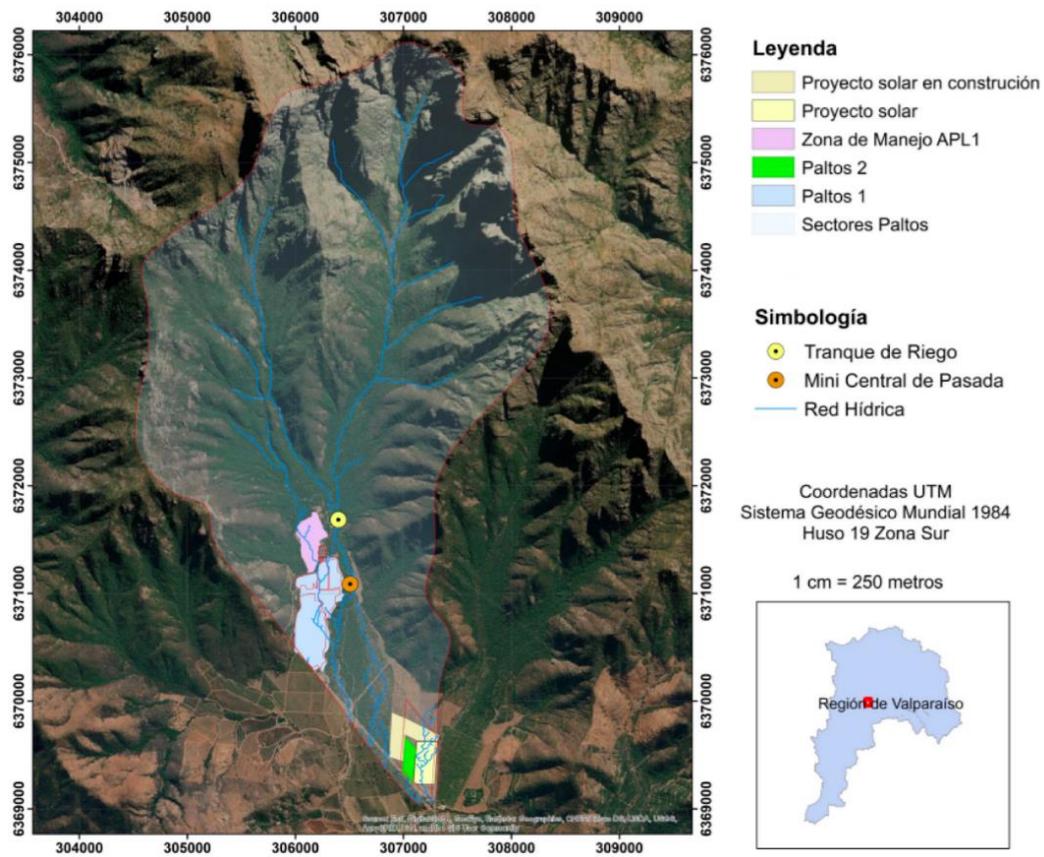
### Objetivos específicos

- a) Analizar el efecto de las características biofísicas y bióticas del sistema productivo de aguacate (*Persea americana*, var. Hass) en la ensenada los Tilos, bajo manejo con principios agroforestales, sobre los componentes suelo y agua.
- b) Comparar los efectos del componente suelo bajo la influencia del policultivo de aguacate en asocio con guayacán y aguacate con peumo, en relación a un manejo de monocultivo y el bosque esclerófilo original.
- c) Proponer alternativas de manejo productivo agroforestal de los sistemas de producción de aguacate (*P. americana*, var. Hass) en Chile central.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Comuna de Hijuelas, Provincia de Quillota, Región de Valparaíso, en el valle del río Aconcagua, Chile, específicamente en el Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada Los Tilos ( $32^{\circ}46'43.31''S - 71^{\circ}4'1.90''O$ ), lugar de trabajo y estudios de la Fundación Somos Agua, el cual posee una altitud promedio de 650 m.s.n.m. (Figura 1). El clima de la zona es templado mediterráneo, con estación seca prolongada de 6 a 8 meses, con características continentales, lo que se traduce en marcadas oscilaciones térmicas diarias. La temperatura media anual es de  $15,5^{\circ}C$  y las precipitaciones anuales aumentan con la altitud, variando desde unos 250 a 300 mm, con niveles anuales de evapotranspiración potencial que alcanzan los 1.020 mm; característico del clima mediterráneo, el sitio presenta un verano seco y un invierno lluvioso, ambas estaciones bien diferenciadas (Municipalidad de Hijuelas, 2014). Los análisis de suelo se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos y el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, ambos pertenecientes a la Facultad d Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.



**Figura 1.** Ubicación predio Ensenada los Tilos, Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso, superficie total 1.200 ha.

El suelo (Inceptisol) se incluye en una Fase de la Serie Ocoa (OCA-1), ubicándose en posición de piedmont y rellenos de quebrada, moderadamente profundos y de clase textural franca, gradiente de pendiente entre 3 y 8%, bien drenados, de permeabilidad moderada y con ligera pedregosidad superficial, posee una capacidad de uso IIIs0 y una aptitud agrícola 3 (CIREN, 2009).

El estudio de caso Los Tilos, contempló la selección de un sistema productivo de aguacate Hass, con 4 tratamientos que incluyeron los principales escenarios de distribución espacial, suelos, cantidad de muestras y ámbito biofísico.

### Tratamientos y diseño experimental

Una vez identificados los sistemas de producción de aguacate, se seleccionó un sitio con manejo convencional (monocultivo), el cual fue contrastado con dos sistemas de producción agroecológica y un testigo con vegetación nativa de matorral esclerófilo, cada uno con 4 repeticiones. A pesar de las restricciones en la aleatorización y la falta de independencia, estos datos se analizaron como si fuera un diseño completamente al azar, ya que se consideró que cada tratamiento cumple con requisitos de homogeneidad en el área de estudio. Es así como se definieron como tratamientos los manejos detallados en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Tratamientos con el detalle de uso y manejo.

Tratamiento	Uso	Manejo	Edad
T1 Agu_M	Huerto de aguacate bajo monocultivo	Convencional	16 años
T2 Agu_G	Huerto de aguacate con guayacán	Agroecológico	15 años
T3 Agu_P	Huerto de aguacate con peumo	Agroecológico	20 años
T4 BNa	Vegetación nativa de matorral esclerófilo	Natural	---

Para el caso de T2 y T3, se tiene un arreglo de policultivo con especies nativas y un manejo agroecológico, entre las que domina el guayacán (*Porlieria chilensis*) y el peumo (*Cryptocarya alba*), en cuyo caso se tomaron muestras de suelo diferenciadas, bajo las especies nativas y bajo los individuos de aguacate adyacentes a estas especies. Así, los manejos agroecológicos se resumen en un huerto de aguacate con guayacán (T2), identificando un T2a cuando se mide bajo aguacate (Agu\_G) y T2b cuando se mide bajo guayacán (G\_Agu); al igual que un huerto de aguacate con peumo (T3), donde T3a es la medición bajo aguacate (Agu\_P) y T3b la medición bajo peumo (P\_Agu). En ambos casos las especies nativas forman una relación directa con el aguacate en un mismo espacio, generando una sinergia entre las especies dentro de un mismo sistema.

### Método

## **Revisión fuentes secundarias**

Se recopiló información de carácter general referente a los sistemas productivos que se encuentran en el predio los Tilos, con la cual posteriormente se determinó las características particulares de las unidades productivas y la definición de cada uno de los tratamientos a evaluar.

## **Diagnóstico**

Se identificaron sistemas productivos en el Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada Los Tilos, Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso. Se determinaron los aspectos relevantes con visitas de campo, a través de recorridos por las zonas productivas de aguacate Hass, lo que permitió identificar los sistemas de producción más frecuentes o tradicionales; con la información obtenida se caracterizaron los sistemas productivos más representativos con base al diagnóstico biofísico, sus componentes, su estructura y función, estableciendo también un estudio de suelos donde se evaluaron propiedades físicas, químicas y biológicas de importancia.

**Diagnóstico biofísico.** El diagnóstico se desarrolló a nivel de unidad productiva (Ensenada los Tilos). Con el productor se realizó una visualización gráfica para determinar los sistemas productivos asociados al aguacate Hass, las características de cada unidad de producción y los factores más relevantes a evaluar, como disponibilidad hídrica, arreglos agroforestales, especies, tipos y manejos de suelos, técnicas de conservación de suelos, manejo del cultivo (podas, fertilización, control de plagas y enfermedades), manejo de sistemas, distribución espacial, variables climatológicas, especies dominantes, abundancia, productividad, sanidad, diversidad, etc.

## **Fase de campo**

**Caracterización florística.** El método que se utilizó para caracterización florística es el de área mínima, propuesto por Matteucci y Colma (1982, citado por Ballesteros y Musalém, 2003), en donde se delimitaron unidades de muestreo (20 m x 20 m). Se contó en cada una de ellas el número de especies presentes, luego se duplica la superficie extendiendo la unidad anterior y se cuenta el número de especies nuevas que aparecen en la unidad aplicada, la operación se repetirá hasta que el número de especies no se incremente más del 10%.

**Análisis florístico.** Se realizó un inventario de los sistemas productivos de aguacate en el predio Ensenada los Tilos. Para esto se seleccionaron y determinaron 2 unidades de muestreo por cada tratamiento, que contaron con un área de 400 m<sup>2</sup> (20 m x 20 m); en ellas se determinó el número de árboles, uso actual e identificación por nombre común. Para el registro e identificación taxonómica del componente arbóreo, se apoyó en trabajos previos que se han realizado en la zona de estudio (Donoso, 2007; Hoffmann, 1979).

Para la estructura de la vegetación, Curtis y McIntosh (1951) desarrollaron un índice de valor de importancia (IVI), que es el producto de la suma de los valores relativos de frecuencia, densidad y dominancia asignado a cada especie. Para esto es necesario conocer el área basal por especie, la cual se obtiene a partir de la variable de diámetro medido a la altura del pecho (DAP: 1,3 m sobre el nivel del suelo), medida con una cinta métrica de 1 m.

Estos valores se determinaron según se detalla a continuación:

- **Abundancia o densidad.** La abundancia es un parámetro muy importante, ya que permite conocer el número de individuos (N) de una determinada especie, familia o una clase de plantas que se encuentran en un área (A) determinada (Montacedo y Fredericksen, 2000) como se muestra en la ecuación 1:

$$A = \frac{N_i}{a} \quad (\text{Ec.1})$$

dónde: A = Abundancia absoluta  
 N<sub>i</sub> = número de individuos de una especie o familia  
 a = Área

**Abundancia relativa (ABr).** Se calcula como el porcentaje de la abundancia de una especie dividido entre la abundancia de todas las especies como se presenta en la ecuación 2:

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{Abundancia por especie}}{\text{Abundancia de todas las especies}} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

- **Dominancia (D).** Grado de predominio o prevalencia de los individuos de una especie que compiten por recursos limitados para suplir las necesidades vitales; está determinada por el número de individuos y por su masividad como se muestra en la ecuación 3:

$$D = \frac{\sum AB}{N} \quad (\text{Ec.3})$$

dónde: D = Dominancia absoluta  
 $\sum AB$  = sumatoria del área basal de una especie  
 N = número de individuos

**Dominancia relativa (Dr).** Se calcula como la relación porcentual entre la dominancia absoluta por especie y la dominancia absoluta de todas las especies como se presenta en la ecuación 4:

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia por especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100 \quad (\text{Ec.4})$$

- **Frecuencia (Fa).** Es la presencia o falta de determinada especie respecto al número de parcelas de muestreo, determinando la distribución de cada especie dentro del terreno. Ésta representa la homogeneidad o heterogeneidad de la vegetación, la uniformidad de

distribución de la especie en el espacio de referencia y la probabilidad de encontrarla, ver ecuación 5:

$$Fa = \frac{\text{Unidades de muestreo que está presente la especie}}{\text{Número total unidades de muestreo.}} \quad (\text{Ec.5})$$

**Frecuencia relativa (Fr).** Se calcula como el porcentaje absoluto de la frecuencia absoluta (Fa) de una especie con relación a la suma de frecuencias absolutas de todas las especies, como se observa en la ecuación 6:

$$Fr = \frac{Fa}{\sum F} \times 100 \quad (\text{Ec.6})$$

Dónde: Fa = % de la frecuencia absoluta de la especie.  
 $\sum F$  = suma de frecuencias absolutas de todas las especies.

- **Índice de valor de importancia (IVI).** Sintetiza un único valor de la sumatoria de la frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia relativa de cada una de las diferentes especies forestales. Este índice pondera aspectos numéricos de la población, las dimensiones de los árboles y la uniformidad territorial en la distribución de la especie, como se establece en la ecuación 7:

$$IVI = ABr + Dr + Fr \quad (\text{Ec.7})$$

dónde: ABr = abundancia relativa de cada especie.  
 Dr = dominancia relativa de cada especie.  
 Fr = frecuencia relativa de cada especie.

**Cálculo del Índice de Shannon para los sistemas productivos.** Según Gliessman (2000), el índice de Shannon es una aplicación de la teoría de la información, donde se aplica la idea de que la mayor diversidad corresponde a la mayor incertidumbre en escoger aleatoriamente un individuo de una especie en particular. Los valores de este índice tienden a ser mayores cuando la distribución de especies e individuos es más equitativa y para los ecosistemas naturales relativamente diversos, pueden ser entre 0 y 3. Este sería un índice potencial de medición, donde se incluye la producción total en cada producto agrícola o el total en cada sistema, obteniendo un indicador de la diversidad de la producción, como propuesta de diseño futuro con policultivos.

Se han desarrollado índices en los cuales se miden elementos de diversidad (Magurran, 1998); en lo que concierne a este estudio, se utilizaron:

**Índice de Shannon (H').** Mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar dentro de las unidades de muestreo, ver ecuación 8:

$$H' = - \sum p_i \ln(p_i) \quad (\text{Ec.8})$$

donde  $p_i$  = proporción de cada especie en la población.

A mayor valor de  $H'$  mayor diversidad de especies.

**Índice de Simpson (D).** Mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en las unidades de muestreo sean de la misma especie como lo establece la ecuación 9:

$$D = 1 - \frac{\sum n_i (n_i - 1)}{N(N-1)} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde  $n_i$  = número de individuos por especie  
 $N$  = total de individuos presentes

A mayor valor de  $D$  menor dominancia de una (o de un grupo) de especies.

### **Muestreo y caracterización de suelo**

Este se llevó a cabo luego de la selección y caracterización de las zonas productivas. Se trazaron parcelas de 6 m x 3 m en cada sistema productivo, donde se realizaron calicatas para descripciones morfológicas de los perfiles del suelo, donde se definieron los horizontes genéticos y rasgos morfológicos según Schoeneberger *et al.* (2012).

Se tomaron muestras representativas por horizonte genético, donde se definieron tres profundidades (0-15 cm, 15-30 cm y 30-60 cm) para el muestreo y análisis de variables físicas y dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) para las variables químicas. Las propiedades evaluadas se detallan en el capítulo de Fase de Laboratorio.

La evaluación biológica de macrofauna se llevó a cabo mediante la metodología del protocolo de muestreo para Macrofauna (TSBF) de Anderson e Ingram (1993), tomando como referencia un área de 50 m<sup>2</sup>, donde se identificaron y muestrearon dos sitios en cada uso y manejo de suelos correspondientes a los tratamientos. Una vez marcados los puntos de muestreo, con la ayuda de un marco de hierro de 25 x 25 x 10 cm<sup>3</sup>, se procedió a recolectar en superficie la hojarasca y el material vegetal situado sobre el cuadro marcado. Posteriormente se cava y se ahonda alrededor del sitio hasta lograr una muestra (monolito), esto cada 10 cm de profundidad, hasta obtener tres muestras y un total de 30 cm de profundidad de muestreo. Luego, se colocó el suelo de cada monolito en una bandeja plástica para poder realizar la inspección visual de los macroinvertebrados, este procedimiento se hizo de forma manual con la ayuda de una lupa, con la cual se va identificando y contabilizando las especies presentes en cada muestra de suelo, proceso que se llevó a cabo por cada uso de suelo, repetición y profundidad de muestreo.

El trabajo se realizó en dos épocas de muestreo, esto debido a las condiciones de clima mediterráneo de la zona de estudio. El primer muestreo se realizó a finales del mes de mayo de 2021, en época de otoño, donde se presentó escasa abundancia de macrofauna. El segundo

muestreo se realizó en el mes de noviembre, en época de primavera, donde las temperaturas incrementan después del invierno, esto con el fin de encontrar una mayor abundancia y presencia de macrofauna en el suelo.

En campo se evaluó la resistencia a la penetración mediante el uso de un penetrómetro de punta cónica, el cual se insertó verticalmente y se evaluó en cada una de las cuatro repeticiones de los tratamientos cada 10 cm, hasta los 50 cm de profundidad.

También en campo se midió la conductividad hidráulica no saturada ( $K_{ns}$ ) superficial, mediante el método del minidisco infiltrómetro a cuatro presiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa) (Reynolds, 2006). Para esto se empleó agua del sistema de riego de los cultivos y una arena fina como material de contacto entre el equipo y la superficie rugosa del suelo (Angulo-Jaramillo *et al.*, 2000). Se tomaron mediciones de la altura de volumen de agua infiltrada cada 30 segundos, durante un periodo de tiempo de 10 minutos por cada presión o hasta alcanzar el equilibrio en la tasa de entrada de agua al suelo. Para el procesamiento de los datos se utilizó el método descrito por Zhang (1997), que considera la geometría del bulbo de mojamamiento del equipo en función de la clase textural del suelo. Este método requiere la medición de la infiltración acumulada en función de la raíz del tiempo (Philip, 1957), ajustando los resultados con la ecuación 10:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (\text{Ec.10})$$

donde  $C_1$  y  $C_2$  son parámetros de ajuste. El ajuste corresponde a una expresión transformada de un modelo cuadrático, en que  $C_1$  corresponde a la curvatura de una parábola en el dominio de los datos empíricos y está relacionada a la permeabilidad; en tanto,  $C_2$  es la pendiente estabilizada de la parábola y corresponde a la sortividad del suelo. La  $K_{ns}$  se calcula entonces a partir de la ecuación 11:

$$K_{ns} = C_1 / A \quad (\text{Ec.11})$$

Siendo  $C_1$  la curvatura de la función determinada por la infiltración acumulada a dicha tensión en función de la raíz del tiempo, función de tipo polifónica descrita en la ecuación 10. El parámetro  $A$  depende de los factores  $n$  y  $\alpha$  del ajuste de la curva característica desarrollada por Van Genuchten (1980), el cual fue caracterizado para las distintas clases texturales por Carsel y Parrish (1988), de manera que, para la clase textural del sitio de estudio, se tomaron los respectivos valores de  $A$ .

Los valores de  $K_{ns}$  y las tensiones de medición permitieron realizar una regresión lineal, con la que se determinó la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) al extrapolar el intercepto sobre el eje  $Y$  (tensión a cero).

### **Fase de laboratorio**

Para el caso de las propiedades físicas, se evaluaron las variables de  $D_a$  por el método del cilindro; densidad real a través del método del picnómetro; textura por el método del

hidrómetro de Bouyoucos (Sandoval *et al.*, 2012); pedregosidad mediante el tamizado y posterior cálculo del porcentaje de gravas, guijarros y piedras, denominándose gravas a los fragmentos de 0,2 a 7,6 cm de diámetro, guijarros a los fragmentos de 7,6 a 25 cm y piedras a los fragmentos entre 25 a 60 cm (USDA, 2017); curva característica de humedad del suelo para la determinación del contenido de agua a diferentes tensiones (0, -0.2, -6, -33, -500 y -1500 kPa) mediante el uso de la cama de arena, platos y ollas a presión (Dane y Hopmans, 2002), determinando así la distribución de los distintos tamaños de poros en: poros de drenaje rápido (PDR), poros de drenaje lento (PDL) y poros de agua útil (PAU); estos fueron evaluados en cilindros no disturbados y a distintas tensiones que determinan cada tamaño de poro (Pagliai y Vignozzi, 2002).

Los PDR y PDL son aquellos poros de diámetros mayores a 50  $\mu\text{m}$  y entre 10-50  $\mu\text{m}$  respectivamente, estos representan en su conjunto a los macroporos o poros estructurales; los PAU tienen diámetros de 0,2-10  $\mu\text{m}$  y corresponden a los microporos o poros texturales que contienen el agua aprovechable por la planta, quedando un remanente de agua retenida a tensión de 1500 kPa.

La estabilidad de agregados se evaluó con el método de la relación de dispersión (RD), seleccionando agregados con diámetros entre 1 y 2 mm mediante tamizado, luego se dispersaron con agua destilada, mientras que una contramuestra se dispersó con una solución de pirofosfato de sodio (0,5N) y agitación mecánica durante 5 minutos. Se determinó en ambas suspensiones el contenido de arcilla y limo, calculándose la estabilidad de los agregados como la relación (arcilla + limo) del suelo sometido a dispersión en agua destilada y (arcilla + limo) del suelo con dispersión química y mecánica (Seguel *et al.*, 2003). Al ser una prueba de dispersión, el menor valor de RD denota la mayor estabilidad de agregados.

En el caso de las propiedades químicas, se midió: capacidad de intercambio catiónico (CIC); contenidos disponibles de nitrógeno (N); fósforo (P) y potasio (K); pH en agua en una proporción suelo : solución de 1:2,5; conductividad eléctrica (CE) mediante extracto de pasta saturada; materia orgánica del suelo (MOS) por calcinación en mufla; y hierro disponible por extracción con DTPA, todas metodologías descritas por Sadzawka *et al.* (2006) en base a estándares analíticos para suelos de Chile.

### **Diseño de alternativas de manejo productivo agroforestal**

Como propuestas de diseño, se utilizó la metodología de Planificación Agroforestal de Fincas bajo un enfoque de diseño participativo, como herramienta del Diagnóstico y Diseño agroforestal (D&D), de acuerdo a las condiciones del predio, los sistemas de producción y los objetivos de los productores (Somarriba, 1998), donde los árboles pueden cultivarse en los campos agrícolas de las unidades productivas en múltiples formas (Raintree, 1987).

Es así como se utilizó el diseño participativo como medio para plantear el diseño final de las alternativas de manejo productivo agroforestal en el predio Ensenada los Tilos, dando prioridad al sistema de producción de aguacate (*P. americana*, var. Hass) en asociación con el uso de especies nativas.

## Análisis estadístico

Los datos correspondientes a las variables cuantitativas fueron caracterizados mediante estadística descriptiva (promedio, desviación estándar, coeficiente de variación) y comparados mediante modelos lineales mixtos (MLM), considerando los tratamientos y la profundidad como factores fijos. El MLM permite establecer un nivel de significancia del 5%, en caso de encontrar interacción entre los niveles de los factores, se realiza un análisis comparando los niveles de un factor dentro de cada nivel del otro factor y viceversa. Por el contrario, de no haber interacción, se procede a evaluar cada factor por separado. Cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas, se procedió a realizar la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher ( $\alpha < 0,05$ ).

Posteriormente, los datos fueron procesados mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual es una técnica estadística descriptiva que tiene como punto de partida una matriz de datos con una serie de individuos a los que se les ha medido varias variables, por cual suele clasificarse como una técnica multivariante. A partir del ACP se realizaron representaciones gráficas Biplot, las cuales permiten detectar las asociaciones entre propiedades o caracteres de una población y estructurar la variabilidad existente, de tal modo que es posible encontrar diferentes tipos de información (factores) contenida en las variables y la cantidad de información del mismo tipo (factor) que contiene cada variable. Se consideró el supuesto de que una variable determinada contiene en parte información ya suministrada por otra u otras variables (Bautista y Ramos, 1988).

Para el caso de la conductividad hidráulica, los valores de  $K_{ns}$  fueron ajustadas mediante regresiones lineales (significancia de 5%) relacionando la  $K_{ns}$  a la tensión de suministro. Con el intercepto a tensión cero se determina la  $K_s$  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 ( $\alpha \leq 5\%$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diagnóstico biofísico

#### Requerimientos del cultivo de aguacate

**Clima y riego.** En Chile el clima es uno de los factores más importantes para el cultivo de aguacate, debido a que no hay áreas abundantes con clima subtropical, que es el ideal para la especie. Por lo tanto, este factor tiene mucha importancia para decidir la especie y cultivar a establecer, así como el diseño del huerto para disminuir los riesgos de daños por bajas temperatura (Lemus *et al.*, 2010). Entre los factores climáticos a considerar se encuentran:

- a) **Temperatura:** El aguacate es sensible a bajas temperaturas ( $-2^{\circ}\text{C}$ ), en especial el cultivar Hass, siendo susceptible a daños por heladas (Salvo, 2020). Es importante que en el momento de la floración las temperaturas sean óptimas, las que oscilan entre los  $20$  a  $25^{\circ}\text{C}$  durante el día y  $10^{\circ}\text{C}$  en la noche, permitiendo que se presente una exitosa fecundación y una buena cuaja, requerimiento que se cumple en las condiciones de Chile. Sin embargo, es normal la ocurrencia de 1 a 5 heladas al año, aunque no severas, lo que lleva a desplazar el cultivo a zonas altas y en pendiente.
- b) **Radiación:** El exceso de radiación solar puede provocar “golpes de sol” en madera y frutos, por lo que es primordial que haya un equilibrio en la distribución hoja-fruto del árbol. La densidad de un adecuado follaje también determina la demanda hídrica del aguacate, mediante la evapotranspiración del cultivo, por lo que es un factor esencial en el manejo de un huerto frutal. El gradiente radiativo en Chile (alto en el norte y disminuyendo hacia el sur) cumple con los requerimientos del aguacate, y es en la zona norte donde con mayor frecuencia se generan daños por golpes de sol (Lemus *et al.*, 2010).
- c) **Precipitaciones:** Las precipitaciones constituyen un aporte complementario al riego, estas se concentran en el periodo de invierno; si son abundantes y producen anegamiento, el sistema radical está propenso a asfixia. Las demandas anuales de agua en el cultivo de aguacate en plena producción fluctúan entre  $8.000$  a  $10.000\text{ m}^3$  por hectárea en la temporada. Sin embargo, dado que en Chile el cultivo se ha expandido a la zona norte o más cercana a la cordillera, estos requerimientos pueden llegar incluso a cerca de  $18.000\text{ m}^3$  por hectárea al año (Lemus *et al.*, 2010).

El gradiente climático en la zona de cultivo de aguacate en Chile abarca montos de precipitación anuales entre los  $80$  y los  $500\text{ mm}$ , concentradas en la época de menor demanda hídrica, por lo que existe un déficit hídrico que es necesario suplir con riego (Gil *et al.*, 2009). Al respecto, la fruticultura en Chile presenta un alto nivel de tecnificación, siendo normal el uso de riego presurizado de alta frecuencia, principalmente goteo y microaspersión, junto con técnicas de monitoreo y control de las demandas hídricas (Callejas *et al.*, 2014).

**Suelo.** La profundidad del suelo requerida para el óptimo desarrollo del aguacate es de al menos 1 m libre de napa freática, idealmente de clase textural franco arenosa; en caso de texturas arcillosas, deben poseer un buen drenaje (Sierra, 2019). El aguacate necesita un pH neutro a ligeramente ácido, en el rango entre 5,5 a 7,0, ya que en suelos de pH alcalino es susceptible a presentar deficiencias de microelementos como Fe, cinc (Zn) y manganeso (Mn), que se han correlacionado a una pérdida de producción. Por último, el aguacate es una especie sensible a la salinidad, la cual no debe ser mayor a  $1,3 \text{ dS/m}^{-1}$ , ya que, sobre este valor, el aguacate empieza a afectarse, a tal punto que ya con  $2,5 \text{ dS/m}^{-1}$ , el rendimiento desciende en un 25% (Martínez *et al.*, 2014).

Las condiciones de formación de suelos en la zona central de Chile generan una dominancia de suelos pertenecientes a los Ordenes (Soil Taxonomy) Inceptisols y Mollisols en los valles aluviales, con presencia de Entisols y Alfisols en sectores de la Cordillera de la Costa y una amplia variabilidad textural (Luzio *et al.*, 2010). Los niveles de macroporosidad no son los óptimos para el cultivo del aguacate, dados los niveles medios a bajos de MOS (Beyá *et al.*, 2020), por lo cual se realizan solturas mecánicas profundas al momento de la plantación y aplicación de enmiendas orgánicas durante la vida útil del huerto. Por otra parte, estos mismos autores señalan que es normal presentar restricciones al enraizamiento por poca profundidad de los suelos o por cercanía a los niveles freáticos, por lo que se recurre a la construcción de camellones, que corresponde a la acumulación de material suelo sobre la futura hilera de plantación con el suelo de las entrehileras, alcanzando alturas de hasta 1,5 m, como estrategia para incrementar el volumen de exploración radical. Sin embargo, los camellones se asientan y densifican en el tiempo, generando una disminución de los poros gruesos, lo que trae problemas de hipoxia hacia el sistema radical (Seguel *et al.*, 2018).

En cuanto al pH, la zona norte de Chile presenta valores  $>7,0$ , en cuyo caso se realizan aplicaciones de ácidos a través del riego, manera de disminuir el pH de agua del riego y aumentar la disponibilidad de nutrientes (Gil *et al.*, 2009). Las fuentes acidificantes utilizadas pueden ser ácido fosfórico, el que además se utiliza para limpieza del sistema de riego por goteo, hasta ácido sulfúrico. Sin embargo, este último ha sido cuestionado por sus efectos negativos sobre el suelo (Seguel y Fernández, 2012). En general no se establecen huertos bajo condiciones de suelos salinos, pero si por manejo se comienzan a acumular sales, se realizan riegos abundantes de lavado durante la época invernal.

**Nutricionales.** La época de mayor demanda de nutrientes para el aguacate se presenta en la época de primavera, siendo primordial cumplir en esta etapa los requerimientos nutricionales e hídricos, ya que repercute directamente en la producción del mismo (Lemus *et al.*, 2010). Hay tres momentos claves en el ciclo de este frutal, por lo que es recomendable realizar una fertilización parcializada en aquellas épocas de mayor demanda de nutrientes (Martínez *et al.*, 2014).

La primera es al inicio de primavera, donde se desarrollan brotes vigorosos, los que pueden dar origen a brotes cortos de menor tamaño en verano; estos formarán yemas reproductivas, las cuales florecerán en la temporada siguiente. La segunda etapa ocurre cuando se efectúa la polinización y, posteriormente, la cuaja de frutos en primavera y verano y el crecimiento

y llenado de frutos, en la época de otoño e invierno. En este período el fruto acumula la mitad de los requerimientos totales de N, P, magnesio (Mg) y azufre (S), el 30% de K y boro (B) y el 100% de calcio (Ca). En cuanto a la tercera etapa, ocurre el crecimiento final del fruto (primavera, verano), donde finalizan los requerimientos y hay una acumulación completa de los nutrientes, donde se alcanzan entre 20 a un 25 % de materia seca y 10 a 15 % de aceite (Salvo *et al.*, 2017).

Considerando los requerimientos nutricionales del aguacate, con un rango de variación que depende del tipo de suelo y el rendimiento, en Chile, por cada 10 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  de rendimiento, se aplican en torno a 12  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, 2  $\text{kg ha}^{-1}$  de P y 20  $\text{kg ha}^{-1}$  de K, además de Ca, Mg y S dentro del programa de fertilización básica, todo aplicado a través del riego presurizado de alta frecuencia (Lemus *et al.*, 2010).

El Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada Los Tilos cuenta con un clima templado mediterráneo, con una estación seca prolongada de 6 a 8 meses, lo que se traduce en marcadas oscilaciones térmicas diarias, presentándose problemas de heladas principalmente, que afectan a los cultivos de aguacate. Esto ha llevado a que se adopten prácticas como la utilización de aspersores sobre las copas de los árboles para controlar y minimizar los efectos de las heladas.

El manejo de suelos se realiza sobre camellones de 60 cm de altura en todos los cultivos de aguacate, los cuales poseen una ligera a moderada pedregosidad. Son moderadamente profundos y de clase textural franca a franco arenosa, en posición de piedmont y rellenos de quebrada, con pendientes entre el 3 y 8%, por lo cual se utiliza un sistema de riego por goteo a través del cual se realiza el fertirriego de los cultivos. La Fundación Somos Agua se destaca por la implementación de una estrategia de conservación e inclusión de especies nativas de la zona dentro de los monocultivos tradicionales de aguacate, en especial del guayacán (*Porlieria chilensis*) y peumo (*Cryptocarya alba*), las cuales han sido manejadas junto al cultivo y cuyo objetivo es estudiar y establecer el asocio como policultivo mediante un manejo agroecológico.

## Caracterización florística

### Inventario florístico

El inventario florístico se llevó a cabo en cada unidad de muestreo, para esto se seleccionaron y determinaron 2 unidades de observación por cada tratamiento, que contaron con un área de 400  $\text{m}^2$  (20 m x 20 m), donde se determinó el número de árboles e identificación taxonómica de cada especie registrada en el inventario. Los resultados se presentan en el Cuadro 2.

Para el cálculo del índice de valor de importancia (IVI), no fue posible realizar la medición de diámetro a la altura del pecho (DAP) para algunas especies, esto debido a su arquitectura de hábito arbustivo y espinoso, en cuyo caso habría que hacer una intervención en uno de sus

costados para poder tomar este dato, lo cual se dificulta por su estado de conservación y protección, razón por la cual solo se pudo realizar el cálculo de frecuencia y abundancia. Los resultados se presentan en el Apéndice 2 con su respectivo estado de vulnerabilidad.

Entre las especies encontradas en el inventario y que presentan un estado de conservación y protección se tiene: Guayacán (*Porlieria chilensis*) y Belloto del norte (*Beilschmiedia miersii* (Gay) Kosterm) los cuales se clasifican en un estado “vulnerable”; Canelo (*Drimys winteri* J.Forst. et G.Forst) que se encuentra en estado de “En Peligro” y Lilén Corcolen (*Azara serrata* Var *fermandeziana*) el cual se clasifica en estado “En Peligro Crítico”, por lo cual estas especies son de importancia nacional y es prioritaria su conservación (Benoit 1989; Hechenleitner *et al.*, 2005).

**Cuadro 2.** Inventario florístico.

Nombre científico	Nombre común	Tratamientos*			
		T1	T2	T3	T4
<i>Beilschmiedia miersii</i> (Gay) Kosterm	Belloto del norte	-	-	-	1,5
<i>Peumus boldus</i> Molina	Boldo	-	-	-	6
<i>Kageneckia oblonga</i> Ruiz et Pav.	Bollén	-	-	-	1,5
<i>Drimys winteri</i> J.Forst. Et G.Forst	Canelo	-	-	-	1
<i>Colliguaja odorifera</i>	Colliguay	-	-	-	14
<i>Colletia spinosissima</i>	Crucero o Yáquil	-	-	-	2,5
<i>Acacia caven</i> (Molina) Molina	Espino, Acacia caven	-	-	-	2
<i>Porlieria chilensis</i>	Guayacán	-	1	-	14
<i>Azara serrata</i> Var <i>fermandeziana</i>	Lilén Corcolen	-	-	-	1,5
<i>Lithrea caustica</i> (Molina) Hook. Et Arn.	Litre	-	-	-	10
<i>Escallonia pulverulenta</i> (Ruiz et Pav.)	Madroño	-	-	-	1
<i>Persea americana</i> Mill	Palto- aguacate	9	8	8	
<i>Cryptocarya alba</i> (Molina) Looser	Peumo	-	-	1	16
<i>Quillaja saponaria</i> Molina	Quillay	-	-	-	4
<i>Sophora macrocarpa</i>	Mayú	-	-	-	9
<i>Senna stipulacea</i> H.S.Irwin & Barneby	Quebracho, Alcaparra	-	-	-	1,5
<i>Baccharis linearis</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	Romerillo	-	-	-	2,5
<i>Lobelia tupa</i>	Tabaco del Diablo	-	-	-	1
<i>Retanilla trinervia</i>	Tevo	-	-	-	1
<b>Total</b>	19	9	9	9	90

\* Promedio de especies por tratamiento para T1: aguacate en monocultivo; T2: aguacate-guayacán; T3: aguacate-peumo y T4: bosque nativo.

En el inventario se encontraron 90 individuos en promedio por unidad de muestreo para el bosque nativo (T4), correspondiente a 18 especies, entre las que se destaca la presencia de Peumo (*Cryptocarya alba*, 16 individuos), Guayacán (*Porlieria chilensis*, 14 individuos) y Colliguay (*Colliguaja odorifera*, 14 individuos), los cuales presentaron la mayor abundancia (Ver apéndice 2). Para el tratamiento T1, T2 y T3 se registraron un total de 9 individuos por unidad de muestreo, esto debido a la distancia de plantación del cultivo principal, que es el

aguacate, pero que en T2 y T3 presentan 8 individuos de aguacate y un individuo de especie nativa inmerso en la unidad de muestreo, por lo cual hay una predominancia respecto a la abundancia en estos sistemas productivos.

Como parámetro de diversidad, se calculó el índice de Shannon ( $H'$ ), que mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar dentro de las unidades de muestreo, y el índice de Simpson (D), que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar en las unidades de muestreo sean de la misma especie. Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Valores de diversidad de especies por tratamientos.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
Número de individuos promedio por unidad de muestreo	9	9	9	90
Índice de Shannon ( $H'$ )	0	0,35	0,35	2,44
Índice de Simpson (D)	1	1,25	1,25	8,9

De acuerdo con el índice de Shannon, el bosque nativo presentó el mayor valor de  $H'$ , mostrando una mayor diversidad de especies, mientras tanto, en los tratamientos T2 y T3 se observa una baja diversidad arbórea y el monocultivo de aguacate (T1) no presenta diversidad alguna. El índice de Simpson muestra que a mayor valor, existe una menor dominancia de una especie o grupo de especies, lo que evidencia un dominio alto en el monocultivo de aguacate y una menor dominancia en el bosque nativo debido a su alta diversidad.

## Caracterización del suelo

### Textura

El Cuadro 4 muestra los valores de textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos para la profundidad 1 (0-15cm) para los tratamientos T1 aguacate monocultivo (Agu\_M); T2 aguacate-guayacán, identificando un T2a cuando se mide bajo aguacate (Agu\_G), y T2b cuando se mide bajo guayacán (G\_Agu); al igual que T3, aguacate-peumo, donde T3a es la medición bajo aguacate (Agu\_P), y T3b la medición bajo peumo (P\_Agu); finalmente, T4 que corresponde al bosque nativo (BNa). Para las siguientes profundidades (15-30 y 30-60 cm), los resultados se presentan en el Apéndice 3.

Los tratamientos T1, T2 y T4 presentan una clase textural franco arenosa (Fa), con porcentajes de arena por sobre el 50%, en comparación a T3, donde la medición bajo la influencia del aguacate (T3a Agu\_P) y bajo la influencia del peumo (T3b P\_Agu) presenta una predominancia de textura franca en los primeros 15 cm de profundidad. Comportamiento similar se presentó en la profundidad de 15 a 30 cm (Apéndice 3,1), presentando una evidente homogeneidad textural en los primeros 30 cm de todos los perfiles de los tratamientos. Para la profundidad 3 (30 a 60 cm) se sigue presentando la misma homogeneidad, excepto para

T3a, donde la textura cambia a FAa (Apéndice 3,2) disminuyendo el porcentaje de limo y aumentando el de arcilla levemente, en un 3,92% y 4,04% respectivamente.

**Cuadro 4.** Detalle de la proporción de arenas, arcillas y limos (promedio  $\pm$  DS) con su respectiva clase textural para la profundidad 1 (0-15cm) y porcentaje de fracción gruesa por tratamiento (partículas  $>2$ mm).

Tratamiento	Fracción gruesa (%)	Profundidad 0 – 15 cm			Clase textural USDA*
		Arena %	Arcilla %	Limo %	
T1 Agu_M	36,84	59,61 $\pm$ 6,96	14,23 $\pm$ 3,07	26,16 $\pm$ 4,33	Fa
T2a Agu_G	45,47	54,63 $\pm$ 4,24	16,49 $\pm$ 1,78	28,88 $\pm$ 4,90	Fa
T2b G_Agu	50,98	60,41 $\pm$ 8,56	14,59 $\pm$ 2,66	25,00 $\pm$ 5,99	Fa
T3a Agu_P	30,94	45,46 $\pm$ 15,01	19,87 $\pm$ 7,70	34,67 $\pm$ 7,52	F
T3b P_Agu	28,50	43,40 $\pm$ 17,06	20,08 $\pm$ 8,48	36,52 $\pm$ 8,96	F
T4 BNa	50,78	75,19 $\pm$ 6,54	9,09 $\pm$ 2,52	15,72 $\pm$ 5,66	Fa

\*Clasificación de acuerdo a la clase textural USDA: Fa: Franco arenoso y F: Franco.

Si bien el suelo de la Fase de la Serie Ocoa (OCA-1), presenta una clase textural franca en superficie de acuerdo a lo descrito por CIREN (2009), también reportan que para el horizonte A1 (0-21cm), la clase textural varía de franca a franco arenosa, lo cual coincide con los resultados obtenidos para todos los tratamientos.

Respecto a la fracción gruesa ( $>2$ mm) en el horizonte superficial, T2 y T4 presentaron clastos abundantes, con porcentajes promedio sobre el 40%, siendo T4 (bosque nativo), con 50,78%, el sitio con mayor presencia de gravas, guijarros y piedras, tanto en superficie como en el perfil con una pedregosidad abundante (USDA, 2017). Los valores más bajos se obtuvieron en T1 y T3, los cuales presentan una pedregosidad moderada, al estar en el rango entre 15 y 35%; sin embargo, tanto en T3 como en T4, por debajo de 30 cm se encuentra un sustrato pedregoso abundante (Apéndice 3,2). Los niveles de partículas gruesas son comparativos a los reportados por CIREN (2009) para la serie Ocoa (OCA-1), donde la pedregosidad superficial varía de ligera a moderada, como se presentó en T3, pero que puede presentar variaciones, generando una pedregosidad escasa a abundante tanto en superficie como en el perfil.

### Densidad aparente

Los valores de densidad aparente (Da), obtenidos mediante el método del cilindro, se presentan en el Cuadro 5 en función de la profundidad del suelo. La Da es una propiedad que depende, entre otros factores, de la estructura, el contenido de agua, la mineralogía y la clase textural del suelo (Sandoval *et al.* 2012). Los valores obtenidos para Da presentaron diferencias estadísticamente significativas de manera independiente para las variables profundidad y tratamientos.

**Cuadro 5.** Densidad aparente ( $Mg\ m^{-3}$ , promedio  $\pm$  DS) de los tratamientos en las tres profundidades evaluadas.

Tratamiento	Da (Mg m <sup>-3</sup> )*			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	1,30 ± 0,14	1,54 ± 0,16	1,54 ± 0,28	1,46 A
T2a Agu_G	1,18 ± 0,23	1,19 ± 0,08	1,39 ± 0,17	1,25 B
T2b G_Agu	1,31 ± 0,17	1,15 ± 0,13	1,39 ± 0,13	1,29 B
T3a Agu_P	1,02 ± 0,19	1,41 ± 0,10	1,40 ± 0,24	1,28 B
T3b P_Agu	1,07 ± 0,31	1,37 ± 0,17	1,35 ± 0,25	1,26 B
T4 BNa	1,18 ± 0,22	1,52 ± 0,15	1,67 ± 0,17	1,46 A
Promedio	1,18 B	1,37 A	1,46 A	

\* T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo. Letras distintas en una columna/fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Al observar los valores obtenidos para el factor tratamiento, se observa que T1 y T4 presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás tratamientos, con valores promedio de 1,46 Mg m<sup>-3</sup> a nivel de todo el perfil, mientras tanto T2 y T3 muestran valores por debajo de 1,30 Mg m<sup>-3</sup>. De acuerdo a la clase textural (franco arenosa a franca, Cuadro 4), se esperarían valores entre 1,20 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup>, por lo que ambas coberturas de T2 y T3 presentaron el resultado esperable (Sandoval *et al.* 2012). Para el caso de T1, que presenta valores de Da consistentemente altos en todas las profundidades, los valores responderían a una sobreconsolidación del camellón que genera un aumento de la Da (Horn, *et al.*, 2007). El tratamiento T4 presenta un valor excesivamente alto de la Da entre 30-60 cm, en respuesta a la abundante pedregosidad (Apéndice 3,2), lo que eleva el promedio general del tratamiento.

Los valores obtenidos de Da en superficie (0-15 cm) variaron entre 1,02 a 1,31 Mg m<sup>-3</sup>, mientras que los valores más bajos se presentaron en el T3, tanto para la medición bajo aguacate (T3a), como bajo peumo (T3b), con 1,02 y 1,07 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente. De acuerdo a Sandoval *et al.* (2012), la textura determina la proporción de los distintos tamaños de partículas que se distribuyen en el suelo, de manera que una predominancia de partículas más finas (arcillas) implicará un mayor volumen total de suelo para una masa determinada, por lo tanto, una Da menor. Esto se evidencia en el Cuadro 4, donde la cantidad de arcillas y limos para T3a y T3b en superficie (0-15cm) es comparativamente mayor en relación a los demás tratamientos.

A nivel de profundidad, se observó una tendencia a incrementar la Da, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre los 15 y 60 cm. El valor más alto de Da se obtuvo en profundidad (30-60 cm) para el T4, con una Da de 1,67 Mg m<sup>-3</sup>, el cual es comparable al valor de 1,6 Mg m<sup>-3</sup> propuesto por Sandoval *et al.* (2012) para un suelo compactado. Sin embargo, el valor en este caso responde al alto contenido de fracción gruesa (55,70%, Apéndice 3,2), que puede llegar a presentar valores elevados de Da al poseer una alta heterogeneidad en su composición de tamaño de partículas, ya que las partículas finas ocupan el espacio que queda entre las partículas gruesas, logrando empaquetamientos densos (Sandoval *et al.*, 2012).

## Densidad real

Los valores de densidad real (Dr) se obtuvieron mediante el método del picnómetro (Sandoval *et al.*, 2012) y sus resultados se presentan en el Cuadro 6. Cada factor (tratamiento y profundidad) presentó efectos significativos por separado.

**Cuadro 6.** Densidad real ( $\text{Mg m}^{-3}$ , promedio  $\pm$  DS) para los diferentes tratamientos en función de la profundidad.

Tratamiento	Dr ( $\text{Mg m}^{-3}$ )			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	2,58 $\pm$ 0,06	2,66 $\pm$ 0,10	2,58 $\pm$ 0,07	2,61 A
T2a Agu_G	2,35 $\pm$ 0,16	2,45 $\pm$ 0,17	2,53 $\pm$ 0,10	2,45 AB
T2b G_Agu	2,21 $\pm$ 0,18	2,33 $\pm$ 0,21	2,56 $\pm$ 0,09	2,37 C
T3a Agu_P	2,39 $\pm$ 0,16	2,52 $\pm$ 0,18	2,56 $\pm$ 0,07	2,49 B
T3b P_Agu	2,34 $\pm$ 0,09	2,46 $\pm$ 0,05	2,52 $\pm$ 0,07	2,44 AB
T4 BNa	2,34 $\pm$ 0,13	2,55 $\pm$ 0,12	2,61 $\pm$ 0,02	2,50 B
Promedio	2,37 B	2,49 A	2,56 A	

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo. Letras distintas en una columna/fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

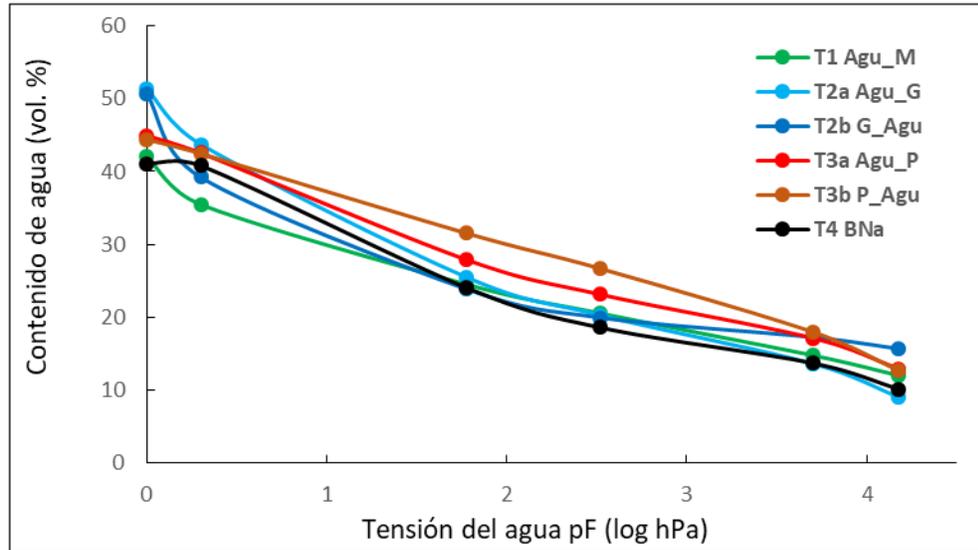
A nivel de tratamientos, el monocultivo de aguacate (T1) presentó el valor promedio más alto, con  $2,61 \text{ Mg m}^{-3}$ , valor cercano a suelos de mineralogía cristalina ( $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ) donde prevalecen componentes dominantes del suelo como el cuarzo u otros tectosilicatos (Lide, 1999). El valor promedio más bajo de Dr lo presentó el T2b, donde se evaluó bajo la influencia del guayacán, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos. Como se verá más adelante, esto respondería al tipo y contenido de materia orgánica que aporta el guayacán al suelo, el cual se humifica e integra en el perfil, disminuyendo la Dr del suelo (Nissen *et al.*, 2005).

A nivel de profundidad, se presentaron diferencias estadísticas significativas, donde en superficie se registró un valor promedio de  $2,37 \text{ Mg m}^{-3}$ , el cual puede deberse a elevados niveles de materia orgánica, disminuyendo la densidad real del suelo hasta niveles de  $2,2 \text{ Mg m}^{-3}$ , resultado que se observa en T2b (G\_Agu). El nivel de Dr en el horizonte superficial resultó significativamente menor al resto del perfil, con valores que aumentan a medida que disminuye el nivel de MOS y aumentan partículas primarias del material parental del suelo (Sandoval *et al.*, 2012).

## Distribución de tamaño de poros

Se determinó la distribución de tamaño de poros de acuerdo a Dane y Hopmans (2002), mediante la curva característica de retención de agua en el suelo (Figura 2). A partir de ella

se derivan los poros según tamaño en poros de drenaje rápido (PDR,  $>50\mu\text{m}$ ), poros de drenaje lento (PDL,  $10\text{-}50\mu\text{m}$ ) y poros de agua útil (PAU,  $0,2\text{-}10\mu\text{m}$ ), resultados que se presentan en el Cuadro 7. Las curvas de retención de agua para las profundidades 15-30 cm y 30-60 cm, se presentan en el apéndice 4.1 y 4.2 respectivamente.



**Figura 2.** Curva característica de humedad del suelo en la profundidad 2 (15-30 cm) para T1 aguacate monocultivo (Agu\_M); T2a aguacate-guayacán (Agu\_G); T2b guayacán-aguacate (G\_Agu); T3a aguacate-peumo (Agu\_P); T3b peumo-aguacate (P\_Agu) y T4 bosque nativo (BNa).

La curva característica de suelo relaciona el estado energético del agua en el sistema poroso a medida que el suelo se seca, con una desaturación gradual desde los poros más gruesos a los más finos (Sandoval *et al.*, 2012). De esta forma, a una tensión igual a cero, todos los poros se encuentran saturados con agua, siendo equivalente a la porosidad total; para el caso de la Figura 2, el tratamiento T2 en ambas condiciones (bajo aguacate y bajo guayacán) presenta la mayor porosidad total.

La mayor o menor fuerza con la que el agua está retenida en el suelo determina la disponibilidad de esta para las plantas (Pagliai and Vignozzi, 2002). Por tanto, conforme aumenta la tensión, la capacidad de retención de agua disminuye y solo una fracción del agua total que presenta el suelo es verdaderamente útil; esta cantidad de agua disponible (PAU, poros de agua útil), bajo un criterio agronómico, se determina como la diferencia entre la retención a capacidad de campo (CC, retención a 330 hPa, pF 2,48) y el punto de marchitez permanente (PMP, retención a 15.000 hPa, pF 4,18). Considerando que el contenido de agua a CC corresponde a un estado energético en que el agua es retenida contra la atracción de gravedad, impidiendo su drenaje, la diferencia entre este valor y la porosidad total (contenido de agua a saturación) define la porosidad de drenaje o de aireación (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Contenido (% promedio  $\pm$  DS) de poros de drenaje rápido (PDR,  $>50\mu\text{m}$ ), poros de drenaje lento (PDL,  $10\text{-}50\mu\text{m}$ ) y poros de agua útil (PAU,  $0,2\text{-}10\mu\text{m}$ ) de los distintos tratamientos a tres profundidades de muestreo.

Tratamiento	PDR ( $>50\mu\text{m}$ )			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	20,04 $\pm$ 7,16	10,97 $\pm$ 2,79	10,57 $\pm$ 4,23	13,86
T2a Agu_G	17,30 $\pm$ 3,64	18,25 $\pm$ 1,99	14,83 $\pm$ 3,24	16,79
T2b G_Agu	11,80 $\pm$ 3,87	15,34 $\pm$ 3,65	15,60 $\pm$ 3,23	14,25
T3a Agu_P	18,76 $\pm$ 5,73	14,65 $\pm$ 5,23	11,74 $\pm$ 4,96	15,05
T3b P_Agu	14,61 $\pm$ 3,07	10,94 $\pm$ 4,35	12,34 $\pm$ 8,19	12,63
T4 BNa	19,40 $\pm$ 5,70	16,76 $\pm$ 3,22	14,98 $\pm$ 2,10	17,04
Promedio	16,99 A	14,49 B	13,34 B	
Tratamiento	PDL ( $10\text{-}50\mu\text{m}$ )			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	4,87 $\pm$ 1,01	3,95 $\pm$ 0,69	3,68 $\pm$ 1,77	4,17
T2a Agu_G	4,72 $\pm$ 1,42	5,18 $\pm$ 0,90	5,67 $\pm$ 2,12	5,19
T2b G_Agu	2,88 $\pm$ 1,10	3,90 $\pm$ 2,38	4,39 $\pm$ 2,48	3,72
T3a Agu_P	3,22 $\pm$ 1,27	4,74 $\pm$ 1,30	4,52 $\pm$ 3,13	4,16
T3b P_Agu	4,50 $\pm$ 0,48	4,83 $\pm$ 1,53	7,19 $\pm$ 3,38	5,50
T4 BNa	4,62 $\pm$ 2,39	5,43 $\pm$ 1,51	5,00 $\pm$ 1,30	5,02
Promedio	4,13	4,67	5,07	
Tratamiento	PAU ( $0,2\text{-}10\mu\text{m}$ )			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	10,01 $\pm$ 1,85	8,52 $\pm$ 5,90	13,35 $\pm$ 5,75	10,63 AB
T2a Agu_G	9,74 $\pm$ 2,34	11,22 $\pm$ 2,24	9,75 $\pm$ 3,89	10,24 AB
T2b G_Agu	4,93 $\pm$ 2,81	4,27 $\pm$ 3,57	4,36 $\pm$ 1,97	4,52 C
T3a Agu_P	11,21 $\pm$ 3,61	10,19 $\pm$ 2,63	11,04 $\pm$ 5,72	10,81 AB
T3b P_Agu	11,63 $\pm$ 6,09	13,98 $\pm$ 4,33	12,23 $\pm$ 2,75	12,62 A
T4 BNa	10,45 $\pm$ 5,74	8,44 $\pm$ 3,08	6,56 $\pm$ 3,54	8,48 B
Promedio	9,66	9,44	9,55	

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: Guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo. Letras distintas en una columna/fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Para los poros de drenaje rápido (PDR) se encontraron diferencias estadísticas significativas para el factor profundidad, destacando el valor promedio más alto en superficie en el monocultivo de aguacate (T1), similar al presentado por el bosque nativo (T4). Es conocido el patrón de enraizamiento del aguacate, con abundantes raicillas y aporte de hojarasca en superficie (Whiley, 2007). Sin embargo, por debajo de los 15 cm los PDR de T1 y T3a caen por debajo del 17%, condición crítica para los aguacates, dado el riesgo de hipoxia (Ferreira

*et al.*, 2006). En este sentido, el resto de los tratamientos mantienen una continuidad porosa en el perfil, e incluso el aguacate en asocio con Guayacán o Peumo logran alcanzar niveles de porosidad de aireación óptimos.

Los niveles de PDR altos en superficie generan diferencias estadísticas significativas con el resto del perfil, con valores que disminuyen en profundidad hasta valores de 13,34% entre 30-60 cm, lo que es esperable en suelos normalmente consolidados y sometidos a procesos de estructuración (Schaffer *et al.*, 2007). Los valores promedio entre tratamientos y para la interacción profundidad x tratamiento no presentaron diferencias estadísticamente significativas, pero cabe destacar que se obtuvieron valores de PDR promedio de los tratamientos por encima del rango óptimo de macroporos (12-15%). Sin embargo, en suelos de bosque esclerófilo estos valores pueden ser aún más altos (Seguel *et al.*, 2015), como el registrado en el tratamiento de bosque nativo, con un promedio de 17,04%. La alta porosidad registrada es consecuencia de los macroporos producidos por la actividad biológica, promovida también por la caída de follaje y el efecto mecánico de las raíces y sus exudados orgánicos que favorecen el desarrollo estructural (Traoré *et al.*, 2000).

Para los poros de drenaje lento (10-50  $\mu\text{m}$ ) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, tanto para el factor tratamiento como para la profundidad, al igual que para la interacción entre los dos, sin embargo, los resultados obtenidos muestran el valor promedio más bajo para T2b (G\_Agu) y el más alto para T3b (P\_Agu), con 3,72 y 5,50% de PDL respectivamente. Al respecto, Seguel *et al.* (2013) indican que los PDR habitualmente se encuentran en una baja proporción, en un rango entre 3 a 6%, con pocos cambios, aún con manejos contrastantes, y solo eventualmente tienen relevancia en el balance agua/aire del suelo.

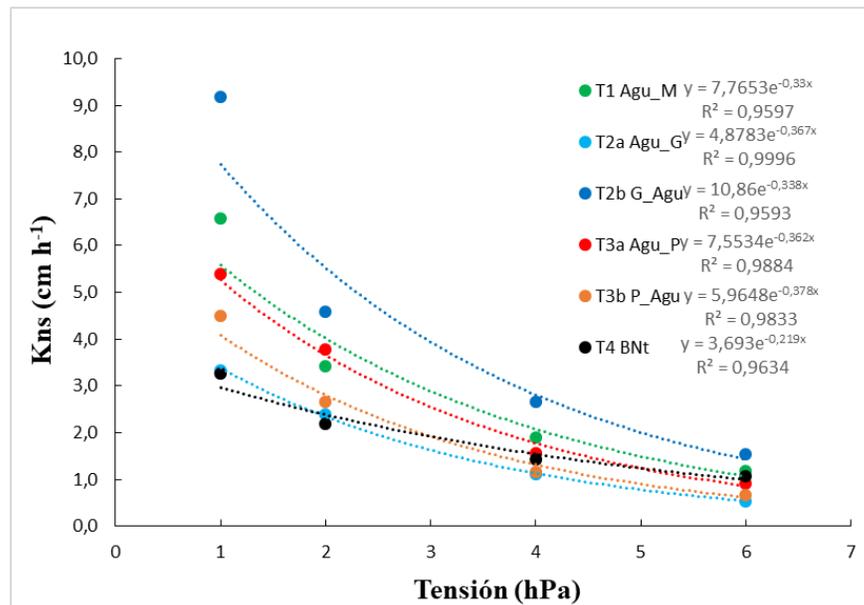
Los poros de agua útil (0,2-10  $\mu\text{m}$ ) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, donde T2b, bajo la influencia del guayacán, presentó los valores promedio más bajos a nivel de todo el perfil, junto al tratamiento de bosque nativo (T4), con valores inferiores al 10%, presentando una disponibilidad pobre de acuerdo a Reynolds *et al.* (2009). Por otro lado, los demás tratamientos presentaron porcentajes entre 10,24 y 12,62%, valores que denotan una capacidad de agua disponible limitada. Respecto al factor profundidad, como para la interacción tratamiento x profundidad, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Los macroporos (PDR y PDL), no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, esto posiblemente debido a la formación de estructuras por hinchamiento y contracción, las cuales promueven la heterogeneidad en la distribución del tamaño de los poros (Horn *et al.*, 1994) y posiblemente a un efecto por el secado del suelo, que produce agregados más densos y con mayor cohesión (Seguel y Horn, 2006). En este sentido, existe una buena macroporosidad (PDR >12%) que asegura la aireación del sistema de raíces, constituyéndose en una ventaja para evitar el estrés por hipoxia al drenar el exceso de agua en el suelo.

En cuanto al agua aprovechable, el Guayacán asociado al aguacate presenta niveles homogéneamente bajos en el perfil, lo que no resulta tan relevante en especies nativas, ya que el concepto de agua aprovechable se enmarca en un criterio agronómico, y las especies nativas desarrollan estrategias para extraer agua del suelo más allá del punto de marchitez permanente (Garrido *et al.*, 2020).

### Conductividad hidráulica

Se determinó la  $K_{ns}$  mediante el uso del minidisco infiltrómetro. Los resultados de  $K_{ns}$  en función de la tensión de suministro de agua se presentan en la Figura 3, los valores promedio de  $K_{ns}$  se reportan en el Apéndice 5.



**Figura 3.** Conductividad hidráulica no saturada ( $K_{ns}$ ) a cuatro tensiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa) para T1 aguacate monocultivo; T2a aguacate-guayacán (medido bajo aguacate); T2b guayacán-aguacate (medido bajo guayacán); T3a aguacate-peumo (medido bajo aguacate); T3b peumo-aguacate (medido bajo peumo) y T4 bosque nativo.

Respecto a los resultados de la  $K_{ns}$  (Figura 3), se observa que, a baja tensión (-1 hPa), T2b y T1 mostraron una alta capacidad para conducir agua a través del suelo. Sin embargo, a presiones de suministro menores (-4 y -6) la  $K_{ns}$  disminuyó para cada tratamiento, mostrando valores similares de  $K_{ns}$  de acuerdo a la disminución del contenido de agua en los macroporos. En este sentido, Dörner y Dec (2007) destacan que, más allá del monto total de la porosidad gruesa, resulta más importante la continuidad del sistema poroso para la conducción de gases y la funcionalidad física del suelo.

A partir de la curva de  $K_{ns}$  en función de la tensión de suministro de agua (Figura 3), se derivó la  $K_s$  para los diferentes tratamientos, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ , cm h<sup>-1</sup>) para los distintos tratamientos.

Tratamiento	$K_s$ (cm h <sup>-1</sup> )
T1 Agu_M	7,77 a
T2a Agu_G	4,88 b
T2b G_Agu	10,86 a
T3a Agu_P	7,55 a
T3a P_Agu	5,96 ab
T4 BNa	3,69 c

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según modelo lineal mixto, con pruebas de hipótesis secuenciales y marginales, en base a los coeficientes de los efectos fijos (p-value <0,05).

Los resultados de  $K_s$  muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, donde el policultivo bajo la influencia del guayacán (T2b) presentó el valor más alto, seguido por el monocultivo de aguacate (T1) y el policultivo bajo la influencia del aguacate (T3a), mostrando una alta capacidad de conducción de agua a través del suelo. Los valores obtenidos para  $K_s$  en todos los tratamientos, a pesar de las diferencias estadísticas, se encuentran en el rango entre 3,6 a < 36,0 cm/h<sup>-1</sup> clasificándose como altos de acuerdo a Schoeneberger *et al.* (2012).

Estos valores son similares a los encontrados por Seguel *et al.* (2012) en un suelo arcilloso tratado con ácidos húmicos y residuos orgánicos sólidos; en dicho estudio, los tratamientos incluyen diferentes especies con distinto sistema radicular, los cuales generan una porosidad estable en tiempo tras su descomposición y por ende valores elevados de conductividad hidráulica saturada (Seguel *et al.*, 2013).

Por otra parte, es bien sabido que la conductividad hidráulica depende del contenido de arena en una relación directa, ya que las partículas de arena generan una porosidad gruesa, abundante y continua (Jury y Horton, 2004). Sin embargo, sólo los sitios con aguacate cumplen esta relación, y el sitio con vegetación nativa (T4) escapa a la tendencia, presentando los mayores niveles de partículas gruesas y la menor  $K_s$ . De acuerdo a Seguel *et al.* (2013), este resultado se genera por efectos de repelencia al agua, dada por aportes de materia orgánica que recubren las partículas minerales del suelo; en el caso del presente ensayo, las especies del bosque esclerófilo presentan cutículas cerosas en sus hojas para prevenir la pérdida de agua, lo que incrementa la hidrofobia en la superficie del suelo durante el proceso de humificación de la hojarasca que aporta el árbol (Ellerbrock *et al.*, 2005). Sin embargo, en el presente ensayo no se evaluó la repelencia al agua.

## Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración se midió con el penetrómetro de punta cónica en el mes de octubre, donde se midió la resistencia vertical hasta los 50 cm de profundidad en todos los tratamientos, considerando la influencia de cada especie por separado. En el tratamiento T4 no se pudo medir en profundidad, dado el alto contenido de partículas gruesas en tamaño grava y guijarros, que dificultaron la medición. En el Cuadro 9 se muestran los resultados de RP vertical hasta los 40 cm, en tanto en el Apéndice 6.2 se detalla los valores con su respectiva desviación estándar (DS).

**Cuadro 9.** Resistencia a la penetración (RP, kPa) en función de la profundidad para los distintos tratamientos a diferentes profundidades.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (kPa) (Promedio $\pm$ DS)				
	Profundidad (cm)				
	0-3	3-10	10-20	20-30	30-40
T1 Agu_M	1004 J	1979 IJ	3666 EFGH	4697 CDEF	6491 AB
T2a Agu_G	1210 IJ	2491 GHI	3716 EFG	4873 CDEF	5672 ABC
T2b G_Agu	930 J	2269 HIJ	3575 FGH	5287 BCD	6930 A
T3a Agu_P	1849 IJ	3997 DEF	4706 CDEF	5047 CDE	6138 ABC
T3b P_Agu	2105 IJ	3738 EFG	5292 BCD	4478 CDEF	4515 CDEF
T4 BNa	1665 IJ	4704 CDEF	6824 A	7286 A	7553 A

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo. Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos a una misma profundidad

La resistencia a la penetración se relaciona con el esfuerzo que deben ejercer las raíces en el suelo para abrirse paso en el perfil, dependiendo del estado de compactación y del potencial mátrico del agua del suelo (Jin *et al.*, 2013). Altos niveles de resistencia denotan problemas de compactación, que en algunos casos pueden llegar a ser tan intensos que impiden el crecimiento de las raíces (Lindstrom y Voorhees, 1994). Sin embargo, los protocolos de medición exigen realizar las evaluaciones con el suelo equilibrado a capacidad de campo para comparar con los estándares (Horn y Fleige, 2009), lo que no necesariamente se pudo cumplir en este estudio, en particular bajo condición de vegetación nativa (T4), la cual no estaba sometida a un régimen de riego.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Schoeneberger *et al.* (2012), el tratamiento T2b presentó un valor bajo de resistencia a la penetración en superficie (100 a 1000 kPa), mientras el valor más alto lo presentó el tratamiento bajo la medición con peumo, observándose una RP alta (2000 a 4000 kPa); se observó un comportamiento similar en los demás tratamientos, presentando una resistencia moderada en superficie (1000 a 2000 kPa). Según Gao *et al.* (2012), un valor bajo en superficie podría estar relacionado posiblemente al contenido de agua en el suelo al momento de realizar las respectivas mediciones, pero el factor clave para valores bajos de resistencia en superficie lo constituye la presencia de

materia orgánica en el suelo, aportada por la hojarasca de las especies arbóreas (Soto *et al.*, 2019).

Las mediciones muestran un incremento constante hasta la profundidad de 40 cm para la mayoría de los tratamientos, con un descenso en el rango de 40-50 cm para los tratamientos T1 y T3a (Apéndice 6,1), tendencia similar se manifiesta a menor profundidad en T3b; sin embargo, todos los tratamientos presentan una resistencia alta a muy alta a medida que se va incrementando la profundidad (Schoeneberger *et al.*, 2012). En suelos normalmente consolidados, con una pedogénesis sobre un material homogéneo, es normal encontrar un incremento regular de la resistencia en profundidad (Schaffer *et al.*, 2007). Sin embargo, cuando existen cambios texturales abruptos, procesos cumúlicos en la formación de suelos o alteraciones por labranza y preparación del suelo para cultivo, como es el caso del sitio de estudio, es factible encontrar cambios no continuos de la resistencia (Keller *et al.*, 2019).

### Estabilidad de microagregados

La estabilidad de microagregados (agregados de diámetro entre 1 y 2 mm) se evaluó a través de la relación de dispersión (RD), donde el menor valor denota la mayor estabilidad (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Valores promedio ( $\pm$  DS) de relación de dispersión (RD) para los diferentes tratamientos a tres profundidades de evaluación.

Tratamiento	RD (%)			Promedio
	0-15 cm	15 - 30 cm	30 - 60 cm	
T1 Agu_M	57,7 $\pm$ 14,0	65,7 $\pm$ 8,7	61,6 $\pm$ 4,1	61,6 A
T2a Agu_G	36,4 $\pm$ 4,4	46,2 $\pm$ 6,8	42,5 $\pm$ 3,9	41,7 B
T2b G_Agu	29,9 $\pm$ 1,0	26,4 $\pm$ 4,6	28,3 $\pm$ 7,4	28,2 C
T3a Agu_P	49,2 $\pm$ 11,4	46,1 $\pm$ 14,8	44,3 $\pm$ 16,6	46,8 B
T3b P_Agu	43,4 $\pm$ 4,9	55,0 $\pm$ 10,3	46,9 $\pm$ 8,9	48,4 B
T4 BNa	28,4 $\pm$ 6,8	31,3 $\pm$ 9,0	30,8 $\pm$ 8,6	30,2 C
Promedio	40,9	45,1	42,4	

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

El resultado estadístico para la estabilidad de microagregados mostró efectos para el factor tratamiento, siendo T2b el que presentó los valores más bajos de RD en todo el perfil de suelo (mayor estabilidad), con valores menores al 30% para todas las profundidades; condición similar presentó T4, con una RD de 30,2% promedio del perfil. De acuerdo a Berryman *et al.* (1982), los suelos con una RD menor al 30% indican una menor dispersión de los agregados, y por lo tanto una alta estabilidad al agua. Al respecto, Pagliai y Vignozzi (2002) mencionan que la MOS crea una cubierta cementante en las paredes de los poros, generando una función protectora contra las fuerzas destructivas del agua, lo que ayuda a mantener el

funcionamiento del sistema poroso por más tiempo, lo cual estaría reflejado en una estabilidad de agregados más alta.

Los altos valores de estabilidad de agregados encontrados en el tratamiento bajo la influencia del guayacán (T2b) y el bosque nativo (T4), denotan una perturbación mínima cuando el suelo se somete a mojamiento abrupto (Seguel *et al.*, 2015). Como se comentará más adelante (Cuadro 11), el alto contenido de MOS promueve la estabilidad debido a una lenta humectación del suelo, efecto contrario sucede en suelos con una alta capacidad de humectación, que permite la entrada violenta del agua al suelo, generando la ruptura de los agregados por la presión que genera el aire entrampado en éstos, lo que se traduce en una disminución de la estabilidad de los agregados al agua (Ellies *et al.*, 1995; Chenu *et al.*, 2000).

Por otra parte, se obtuvieron valores altos de RD entre 30 y 60% para los tratamientos T2a, T3a y T3b, presentando una estabilidad media, mientras T1 presentó el valor más alto, con 61,6%, clasificándose como poco estable. La estabilidad de los agregados del suelo varía estacionalmente en climas mediterráneos, siendo más estable en primavera-verano, efecto producido posiblemente por mecanismos que promueven la agregación, como el secado y contracción del suelo y la actividad biológica, que contribuyen a una mayor estabilización de la MO (Nadal-Romero *et al.*, 2009). Efecto contrario se genera en otoño-primavera, al generar una menor estabilidad debido al deterioro de la agregación por efecto del impacto de las gotas de lluvia, así como procesos de secado y humedecimiento repetidos del suelo (Dimoyiannis, 2009). Esto explicaría el estado de mayor dispersión de microagregados con valores promedio de RD más altos, ya que las muestras de este estudio fueron colectadas en otoño de 2021; sin embargo, destacan los valores de T2b y T4, como condiciones de alta estabilidad en relación a sus símiles con peumo y con aguacate.

Respecto al factor profundidad, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el perfil de suelo, presentando valores promedios similares en cada una de las tres profundidades evaluadas; tampoco se presentaron diferencias estadísticamente significativas para la interacción tratamiento x profundidad.

### **Propiedades químicas**

Los análisis químicos se realizaron a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm. Los resultados se presentan en el Cuadro 11.

La capacidad de intercambio catiónico presentó diferencias estadísticas significativas para las dos profundidades, presentando un comportamiento similar tanto en superficie como en profundidad, donde el monocultivo presentó una CIC moderada, con valores menores a  $25 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$ , respecto a los demás tratamientos, que presentaron una CIC muy alta, con valores superiores a  $40 \text{ cmol}_{(+) } \text{ kg}^{-1}$ , destacándose tanto en superficie como en profundidad el bosque nativo con los valores más altos. Según INTAGRI (2018), la CIC tiene relación con las cargas formadas por los coloides tanto orgánicos como inorgánicos, por lo que depende tanto de la mineralogía como del contenido de MOS, factores que se evidenciaron

principalmente en superficie, donde el bosque nativo presentó los valores más altos tanto de partículas minerales (respecto a los valores en profundidad) como de MOS (respecto al resto de los tratamientos).

Los valores de pH muestran diferencias estadísticamente significativas, donde T2b, tanto en superficie como en profundidad, es ligeramente ácido. Condición similar presenta en superficie T3a, por lo cual un efecto esperable es que presenten una máxima disponibilidad de nutrientes para el aguacate respecto a los demás tratamientos, los cuales presentaron un pH neutro. En profundidad se puede evidenciar que T3b y T4, los cuales en superficie presentaron un pH neutro, pasaron a ser ligeramente ácidos (Schoeneberger *et al.*, 2012). La adaptabilidad de cada especie a un rango determinado de pH, hacen que este sea el principal criterio con respecto a la dinámica de los nutrientes que serán absorbidos por sus raíces y que influyen en su productividad (INTAGRI, 2018). Aunque, Lemus *et al* (2010) consideran que un rendimiento óptimo del aguacate se da en suelos con un pH entre 5 a 6, los suelos de la Región de Valparaíso, que es donde mayormente se cultiva aguacate en Chile y donde está establecido este ensayo, presentan un pH promedio de 7,76. Lo anterior sugiere que casi totalidad del área plantada con aguacate en la Región se encuentra en suelos de pH alcalino.

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el suelo, donde los resultados muestran diferencias estadísticas significativas en superficie para el aguacate bajo la influencia del guayacán (T2b), el cual presentó una CE de  $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ , clasificándose como muy ligeramente salino respecto a los demás tratamientos, que presentaron valores menores a  $2 \text{ dS m}^{-1}$  y que, de acuerdo a Schoeneberger *et al.* (2012), se clasifican como no salinos. En profundidad, a pesar de haber diferencias estadísticas significativas, todos los tratamientos presentaron una clase no salina, pero sobresale T2b que presentó el valor más alto de CE, al igual que en superficie.

Los resultados de MOS en superficie presentan los valores más altos, destacándose contenidos por encima de 6% en la mayoría de los tratamientos. Según estándares de clasificación de Benton (2002), estos valores corresponden a niveles altos de MOS, por lo cual no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Sin embargo, se destacan el bosque nativo (T4) y el policultivo bajo la influencia de guayacán (T2b) con los valores más representativos. Los valores más bajos se obtuvieron para el monocultivo (T1) y el policultivo con peumo en la medición bajo el aguacate (T3a), lo que podría depender de la tasa de descomposición de la hojarasca del aguacate. En profundidad se evidenció una disminución del contenido de MOS, pero se destaca nuevamente T2b con un nivel alto al presentar un 5,9% de MOS.

El N, P y K son considerados los macroelementos del suelo, los cuales limitan en mayor medida el desarrollo de los cultivos. En este estudio se determinó el contenido disponible de estos elementos, esto debido a condiciones transitorias como época de muestreo, contenido de agua del suelo y almacenamiento. Los valores de N presentaron diferencias estadísticas significativas para T2b respecto a los demás tratamientos, tanto en superficie como en profundidad, presentando los valores más altos, esto debido a que casi un 95% de éste está asociado a la MOS (Schulten y Schnitzer, 1998), lo cual se relaciona con los altos contenidos de MO que presentó este tratamiento.

**Cuadro 11.** Propiedades químicas y concentración de nutrientes en el suelo (promedio  $\pm$  DS) para los diferentes tratamientos evaluados a dos profundidades de muestreo.

Tratam.	CIC	pH	CE	MO	N	P Olsen	K	Fe
	cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	-----	dS m <sup>-1</sup>	%	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Profundidad 1 (0-30 cm)								
T1 Agu_M	24,5 $\pm$ 2,4 D	6,8 $\pm$ 0,3 A	1,1 $\pm$ 0,6 B	5,0 $\pm$ 1,6 A	25,7 $\pm$ 24,0 B	40,1 $\pm$ 7,8 BC	268,5 $\pm$ 70,9 B	24,6 $\pm$ 11,9 B
T2a Agu_G	40,0 $\pm$ 7,4 CD	6,8 $\pm$ 0,1 A	1,4 $\pm$ 0,8 B	7,6 $\pm$ 2,4 A	10,8 $\pm$ 6,3 B	23,0 $\pm$ 11,0 C	265,3 $\pm$ 121,2 B	26,6 $\pm$ 6,2 B
T2b G-Agu	44,5 $\pm$ 6,4 BC	6,3 $\pm$ 0,3 C	3,6 $\pm$ 1,6 A	8,5 $\pm$ 0,8 A	93,3 $\pm$ 39,3 A	67,2 $\pm$ 14,5 A	661,5 $\pm$ 122,0 A	59,0 $\pm$ 19,2 A
T3a Agu_P	52,5 $\pm$ 14,6 BC	6,5 $\pm$ 0,2 BC	1,0 $\pm$ 0,7 B	5,5 $\pm$ 3,2 A	20,8 $\pm$ 11,7 B	36,7 $\pm$ 20,3 BC	240,4 $\pm$ 105,3 B	29,7 $\pm$ 19,2 B
T3b P_Agu	57,9 $\pm$ 17,2 B	6,6 $\pm$ 0,2 AB	0,7 $\pm$ 0,4 B	6,6 $\pm$ 4,5 A	24,2 $\pm$ 14,2 B	53,2 $\pm$ 17,9 AB	407,1 $\pm$ 192,8 B	22,4 $\pm$ 19,8 B
T4 BNa	76,2 $\pm$ 11,2 A	6,6 $\pm$ 0,1 AB	0,4 $\pm$ 0,3 B	9,4 $\pm$ 5,1 A	20,9 $\pm$ 12,9 B	30,5 $\pm$ 16,9 C	318,4 $\pm$ 138,1 B	41,4 $\pm$ 19,8 AB
Profundidad 2 (30-60 cm)								
T1 Agu_M	24,9 $\pm$ 1,0 E	6,9 $\pm$ 0,1 AB	1,1 $\pm$ 0,5 AB	4,0 $\pm$ 0,9 AB	16,6 $\pm$ 11,1 B	20,8 $\pm$ 5,9 BC	152,2 $\pm$ 24,1 B	27,9 $\pm$ 13,6 A
T2a Agu_G	37,9 $\pm$ 3,2 D	6,9 $\pm$ 0,2 A	1,1 $\pm$ 1,1 AB	5,1 $\pm$ 1,5 AB	17,4 $\pm$ 7,4 B	14,8 $\pm$ 8,8 C	155,0 $\pm$ 50,7 B	22,2 $\pm$ 7,8 A
T2b G-Agu	40,9 $\pm$ 6,7 CD	6,5 $\pm$ 0,4 C	1,9 $\pm$ 1,0 A	5,9 $\pm$ 0,8 A	52,3 $\pm$ 6,6 A	41,7 $\pm$ 11,9 A	343,6 $\pm$ 137,7 A	29,8 $\pm$ 14,6 A
T3a Agu_P	49,3 $\pm$ 7,9 BC	6,6 $\pm$ 0,2 ABC	0,9 $\pm$ 0,6 B	3,4 $\pm$ 1,1 B	26,8 $\pm$ 6,7 B	32,2 $\pm$ 13,6 AB	175,3 $\pm$ 65,4 B	25,0 $\pm$ 10,9 A
T3b P_Agu	52,8 $\pm$ 11,2 B	6,4 $\pm$ 0,5 C	0,4 $\pm$ 0,2 B	4,1 $\pm$ 2,3 AB	15,6 $\pm$ 10,2 B	40,0 $\pm$ 13,0 A	204,6 $\pm$ 35,4 B	30,3 $\pm$ 12,8 A
T4 BNa	66,7 $\pm$ 4,4 A	6,5 $\pm$ 0,4 BC	0,3 $\pm$ 0,2 B	4,6 $\pm$ 1,7 AB	16,6 $\pm$ 8,4 B	23,5 $\pm$ 9,5 BC	214,2 $\pm$ 85,5 B	32,0 $\pm$ 14,3 A

T1: aguacate monocultivo (Agu\_M); T2a: aguacate-guayacán (Agu\_G); T2b: guayacán-aguacate (G\_Agu); T3a: aguacate-peumo (Agu\_P); T3b: peumo-aguacate (P\_Agu) y T4: bosque nativo (BNa). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los niveles de P mostraron diferencias significativas, con los valores más altos para T2b, tanto en superficie como en profundidad, con una disponibilidad muy alta. Respecto a los demás tratamientos en superficie, presentaron una disponibilidad similar, con valores superiores a  $30,1 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras tanto, el valor más bajo lo tuvo T2a, mostrando una disponibilidad alta (Undurraga, 2000). En profundidad la disponibilidad de P disminuye para todos los tratamientos, pero se destacan los resultados de los tratamientos asociados en policultivos con aguacate (T2b y T3b), los cuales presentan los valores más altos de P en la medición bajo los árboles nativos. Esta condición se puede deber a que en suelos neutros (pH 6,5 a 7) el P logra su máxima disponibilidad, presentándose en forma de iones ortofosfato, que pueden ser monovalentes ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) o divalentes ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) y su presencia está influenciada por el tipo de reacción del suelo (Crowley, 2007).

De acuerdo a Undurraga (2000), los resultados de K presentan una disponibilidad alta para el tratamiento T3a y muy alta para los demás tratamientos a nivel de superficie, con valores por encima de  $254 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $0,65 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$ ), siendo significativo el alto valor para T2b, el cual presentó un comportamiento similar en todo el perfil. A nivel de profundidad se puede evidenciar una disminución en los contenidos de K, al presentar una disponibilidad media, especialmente para los tratamientos evaluados bajo la influencia del aguacate (T1, T2a y T3a). Los altos valores de K en superficie están dados posiblemente por las aplicaciones de fertilizantes potásicos o por la liberación desde los minerales por procesos de meteorización (Fageria *et al.*, 2009). Un mejoramiento en la absorción de K trae consigo una capacidad mayor de soportar estrés hídrico en los cultivos, especialmente en el aguacate (Argote, 2020).

Los valores de Fe obtenidos mediante la extracción de DTPA, muestran una alta disponibilidad para todos los tratamientos, tanto en superficie como en profundidad (Undurraga, 2000). Se destaca nuevamente T2b con los valores más altos en superficie, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos. El Fe es el elemento más abundante en la mayoría de los suelos cultivables, pero en la mayor parte de ellos se encuentra en forma no asimilable (Casas, 2012). La química de este elemento es muy compleja, pues se sabe que se oxida y reduce fácilmente según las condiciones del suelo (pH y condición redox), en tanto el papel más conocido del hierro es en el metabolismo de la planta, participando como constituyente de enzimas y pigmentos, funciones claves en la síntesis de clorofila, además mantiene la estructura de los cloroplastos y la actividad enzimática (Tisdale y Nelson, 1991).

## **Parámetros biológicos**

### **Método Manual-TSBF**

Se tomaron muestras para la obtención de macrofauna proveniente de los diferentes usos y manejos del suelo. Los resultados por tratamiento y época de muestreo se presentan en el Cuadro 12, adicionalmente los resultados por tratamientos y profundidades se especifican en los Apéndices 7.1 y 7.2 para los meses de mayo y noviembre, respectivamente.

La fauna de suelo se puede clasificar según su tamaño; para este estudio se realizó la clasificación de la macrofauna del suelo, la cual está constituida por aquellos organismos macro invertebrados que componen la fracción orgánica del suelo y se encuentran comprendidos entre 2 mm a 20 mm de longitud (Ramírez-Trujillo, 2003).

**Cuadro 12.** Macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el mes de mayo (otoño) y noviembre (primavera) de 2021.

Nombre especie	Mayo				Noviembre			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<i>Lombriz de tierra</i>	17	5	16	-	10	20	6	4
<i>Escarabajos</i>	-	1	-	-	-	1	2	0
<i>Hormigas</i>	-	-	-	-	9	25		19
<i>Ciempíes</i>	-	-	-	-	16	1	2	2
<i>Milpiés</i>	-	-	-	-	3	2	7	-
<i>Chanchitos de tierra o cochinillas</i>	4	5	3	-	20	36	34	7
<i>Tijeretas</i>	-	-	-	-	6	9	6	-
<i>Babosa</i>	-	-	-	-			2	-
<i>Araña roja de palto</i>	7	-	4		9	3	2	-
<i>Araña negra</i>	-	-	-	1	-	3		-
<i>Escorpión</i>	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gusano blanco- chiza</i>	1	1	-	-	-	3	3	-
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>73</b>	<b>103</b>	<b>64</b>	<b>32</b>

Fueron encontrados un total de 66 individuos de la macrofauna del suelo distribuidos en 7 especies para la temporada de otoño, destacando la presencia de la mayoría de los individuos en el monocultivo de aguacate. Para el segundo muestreo, realizado en época de primavera durante el mes de noviembre, se encontraron un total de 272 individuos, pertenecientes a 12 especies, siendo T2 el tratamiento que presentó el mayor número de individuos respecto a los demás tratamientos.

Las lombrices de tierra (Oligochaeta), fueron las más predominantes, tanto en otoño como en primavera, y junto a las hormigas (Formicidae) son clasificadas como “ingenieros del ecosistema” porque producen estructuras biológicas originadas de sus actividades, que promueven alteraciones en los atributos micromorfológicos y físicos del suelo, como la infiltración del agua y la aireación del suelo por el aumento de la porosidad (Lavelle *et al.*, 2006).

Otros grupos relevantes corresponden a los chanchitos de tierra (Isópodos), ciempiés y milpiés, donde se destaca principalmente los chanchitos de tierra en primavera, con un total de 97 individuos, siendo los más representativos en esta época de muestreo. Los chanchitos de tierra ayudan a la degradación de materia orgánica, transformándola en abono, ya que luego de digerir dicha materia, esta la expulsa en forma de urea, la cual es rica en N, que lo cataloga como un abono de alta pureza y calidad en nutrientes para el suelo (Balcazar, 2017).

La abundancia total de individuos registrados en los dos periodos de muestreo, muestran diferencias en la composición de la macrofauna entre los periodos estacionales de muestreo, siendo en promedio mucho mayor en época de primavera que en otoño. Al respecto, Duran *et al.* (2013) mencionan que la diversidad, riqueza y abundancia de la macrofauna del suelo varía de acuerdo con el periodo de muestreo, lo cual es muy evidente en este estudio, por lo que se sugiere hacer estudios más detallados respecto a la presencia de macrofauna en las diferentes estaciones climáticas que se presentan en las zonas mediterráneas.

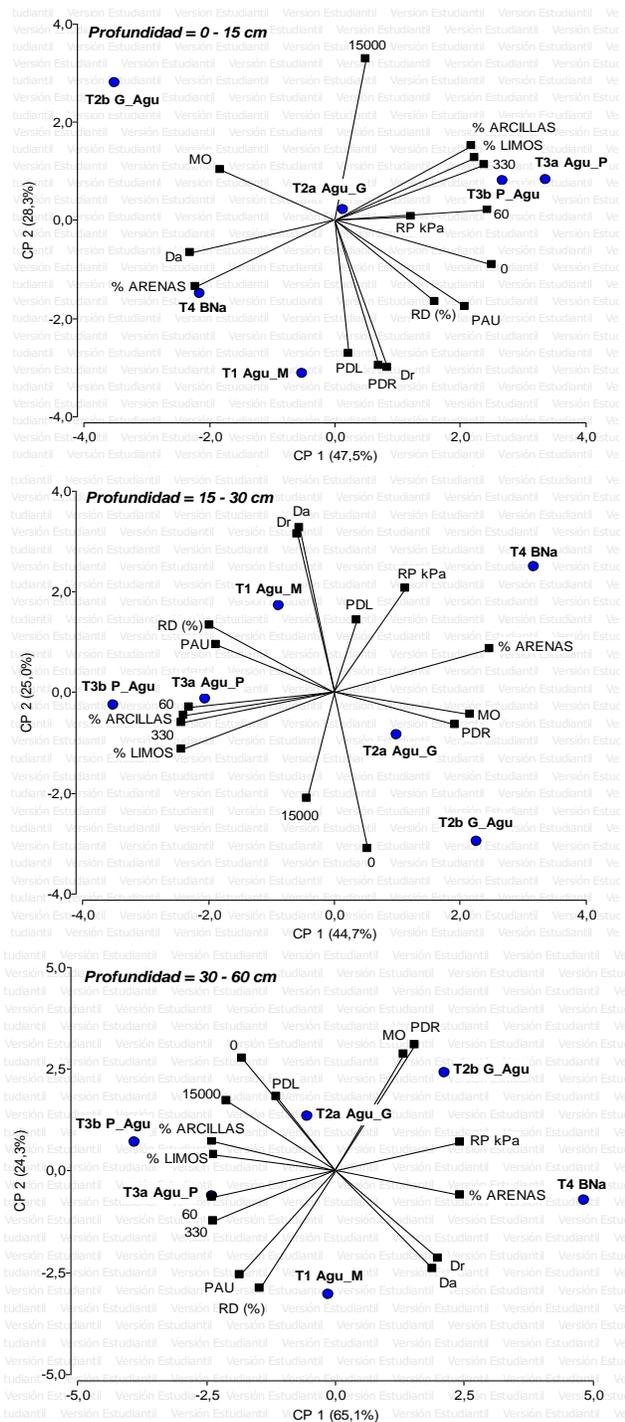
Los valores obtenidos respecto a la profundidad de muestreo, muestran que la macrofauna del suelo fue predominante en los primeros centímetros (hojarasca y 0-10 cm de profundidad) en todos los tratamientos (ver apéndices 7.1 y 7.2), siendo en la época de primavera donde se registró el 86% del total de los individuos que se encontraron para este periodo. Para la profundidad de 20 a 30 cm no se encontraron individuos, salvo 2 y 1 lombrices de tierra durante la medición en el mes de mayo para T1 y T2, respectivamente.

Finalmente, la estimación de la macrofauna por el método TSBF, se ve también afectada por la variabilidad espacial (vertical y horizontal) de los propios organismos, variable relacionada con las variaciones climáticas y el comportamiento de la fauna (Brown *et al.*, 2001). Por lo tanto, si se desea estudiar poblaciones de organismos menores, como los chanchitos de tierra (cochinillas) y los insectos sociales (hormigas y termitas), se recomienda utilizar otros métodos más específicos (Huerta *et al.*, 2011). Esto constituye un aspecto relevante en ensenada Los Tilos, y que a futuro ayudará a proponer una investigación más detallada respecto a este tema.

### **Asociaciones observadas para las variables físicas del suelo**

En la Figura 4 se presenta un gráfico bi-plot de componentes principales para las variables físicas del suelo más la materia orgánica, separadas por profundidad. Los ACP representan, respectivamente, un 75,7%, un 69,7% y un 89,4% de la variabilidad de los datos.

Los gráficos bi-plot muestran una relación lineal inversa entre la MOS y la relación de dispersión (RD), condición que se evidenció principalmente para el tratamiento de monocultivo con guayacán en la medición bajo la especie nativa (T2b). Esto demuestra un efecto de la MOS sobre la RD, por lo que a mayores contenidos de MOS, se presenta una mayor estabilidad de microagregados. Las correlaciones lineales significativas (Ver apéndices 8.1, 9.1 y 10.1) para estas variables se presentan principalmente en las dos primeras profundidades.



**Figura 4.** Análisis de componentes principales de los tratamientos T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo para la profundidad 0-15cm (arriba), 15-30 cm (al medio) y 30-60 cm (abajo), donde: 0, 60, 330, 1500 es la retención de agua para las distintas tensiones en kPa; Da: densidad aparente; Dr: densidad real; PDR: poros de drenaje rápido; PDL: poros de drenaje lento; PAU: poros de agua útil; RD: relación de dispersión; MO: materia orgánica; RP: resistencia a la penetración (kPa).

Las variables de resistencia a la penetración (RP), porcentaje de contenido de arenas y Da, muestran una asociación con el tratamiento de bosque nativo (T4), el cual obtuvo los mayores contenidos de arena respecto a los demás tratamientos, concordante con la clase textural (franco arenoso) y con los valores promedio altos de fracción gruesa (Cuadro 4), los cuales generan una pedregosidad alta y una discontinuidad en el perfil que influencia directamente en la resistencia a la penetración y la Da.

La variable Da presentó una mayor asociación con la RD para el tratamiento de monocultivo de aguacate (T1 Agu\_M) en particular en profundidad, de manera que a mayores valores de Da aumentan los valores de RD. Lo anterior es indicador de una disminución de la estabilidad de los microagregados, lo que se pudo evidenciar con los resultados de valores promedio para estas dos variables (Cuadro 5 y Cuadro 10), con los valores más altos de Da y RD en T1, los cuales se relacionan inversamente con la MOS en profundidad, lo que explicaría la baja estabilidad de microagregados. Caso contrario, la mayor estabilidad se puede deber a la dinámica de la MOS por efecto del guayacán, el cual está generando un sistema poroso estable al agua.

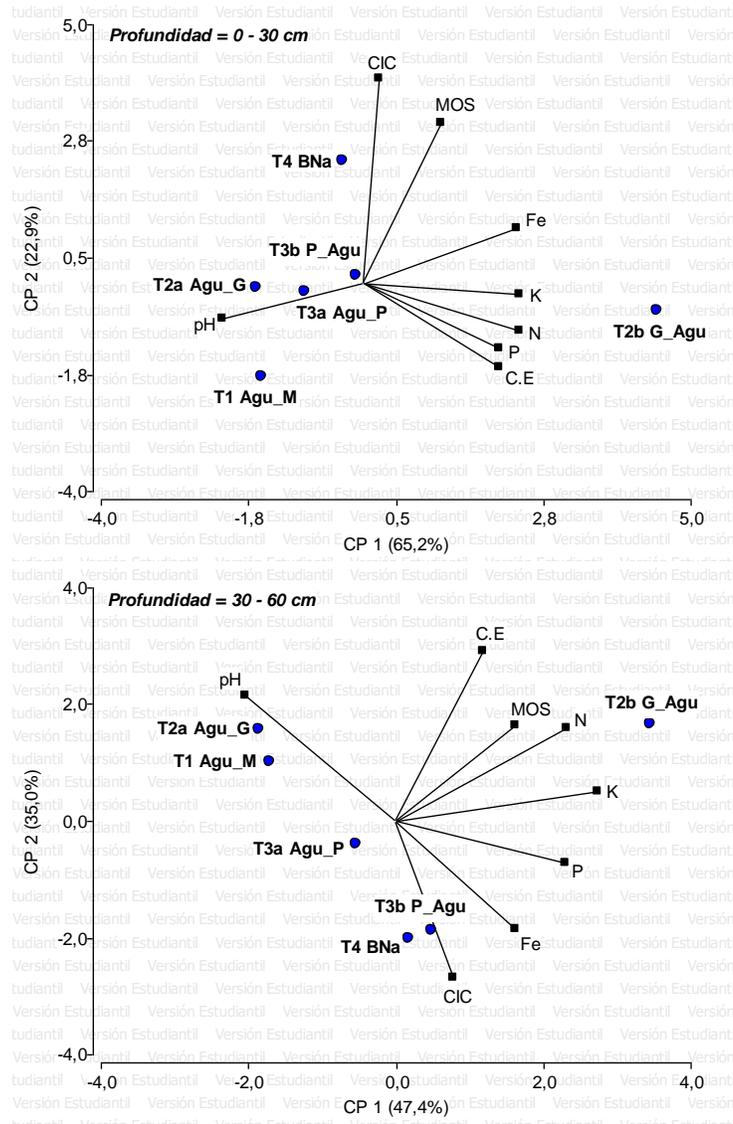
Llama la atención la relación inversa ( $r=-0,39$ ) entre la Da y la MOS en los primeros 15 cm del suelo, esto posiblemente se pudo deber a la acumulación de hojarasca en superficie, lo cual podrían haber generado un efecto sobre la Da por la acumulación de MOS en el suelo (Gaspar-Santos *et al.*, 2015), efecto que se puede observar principalmente en el policultivo con guayacán evaluado bajo la especie nativa (T2b) y en el bosque nativo (T4).

Respecto a la cantidad de poros, no hubo correlaciones estadísticamente significativas (Apéndices 8, 9 y 10); sin embargo, en superficie se puede visualizar una relación alta de macroporos (PDR y PDL) con el monocultivo de aguacate (T1), como lo confirman los resultados del Cuadro 7, donde este tratamiento presentó los valores más altos de PDR y PDL, a pesar de presentar altos valores de Da. Como se discutió previamente, la macroporosidad del monocultivo de guayacán debiese estar más relacionada a procesos de secado intenso, que en suelos poco estables generan grietas de contracción por secado (Horn *et al.*, 2007).

Las observaciones para las variables porcentaje de arcillas (% arcilla), porcentaje de limos (% limos) y capacidad de campo (330) se concentran en los tratamientos de policultivo asociado a peumo (T3a y T3b), los cuales presentaron los mayores valores tanto de arcillas como de limos para las 3 profundidades (Cuadro 4, Apéndice 3.1 y 3.2), predominando una clase textural franca y por ende una alta capacidad de campo.

### **Asociaciones observadas para las variables químicas del suelo**

En la Figura 5 se presenta un gráfico bi-plot de componentes principales para las variables químicas del suelo en la profundidad 1 (0-30cm) y 2 (30-60 cm). Éstos ACP representan respectivamente un 88,1% y un 82,4% de la variabilidad de los datos entre los dos primeros componentes.



**Figura 5.** Análisis de componentes principales de los tratamientos T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo para la profundidad 0-30 cm (arriba) y 30-60 cm (abajo), donde: pH es acidez o alcalinidad del suelo; CE es conductividad eléctrica; N es nitrógeno; P es fósforo; K es potasio; Fe es hierro; CIC es capacidad de intercambio catiónico y MOS es materia orgánica del suelo.

Al analizar los gráficos bi-plot, se observa claramente una relación inversa entre el pH y las demás variables químicas del suelo, tendencia que se presenta en todo el perfil de suelo. Los altos valores en cada una de las variables químicas como CIC, pH, CE, MO, N, P, K y Fe se ven agrupadas en torno al tratamiento de policultivo de aguacate con guayacán, en la medición bajo la especie nativa (T2b), en tanto el pH se asocia a los sitios con aguacate (T1, T2a y T3a).

Las relaciones lineales inversas del pH se dan principalmente con el Fe, el cual es absorbido por las raíces en mayor proporción en forma de ion ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) y en menor cantidad como ion férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) (Peláez-Morales *et al.*, 2013), por lo que su tasa de absorción guarda una relación inversa con el pH del suelo (Mengel y Kirby, 2000). Esta relación se observó tanto en superficie como en profundidad. Bender y Faber (1999), mencionan que el Fe precipita en el suelo y disminuye su disponibilidad a medida aumenta el pH. Para el caso del predio los Tilos, las probabilidades de aniego son bajas, debido a los bajos montos de precipitación y el empleo de riego tecnificado, además de un sustrato de alta permeabilidad que favorece el rápido drenaje del suelo.

La relación entre CIC y Fe es directa en profundidad e inversa a la MOS, pero la CIC normalmente presenta una relación inversa al Fe, que es lo esperable en suelos de carga permanente y es dependiente de la mineralogía 2:1 típica de suelos Mollisols (Alvarado *et al.*, 2014). En superficie la CIC y MOS tienen relación directa, pero el Fe es indiferente, presentando diferencias estadísticas entre tratamientos, las cuales estarían dadas por la CIC variable que aporta la MOS, esto debido a que el Fe se quelata con compuestos orgánicos (Cortina *et al.*, 2000), lo cual explicaría que se presenten altos valores en profundidad. La alta concentración de Fe que se presentó en los tratamientos con guayacán (T2a y T2b), posiblemente está influenciada por la MOS, y no por la CIC, ya que una distribución esperada, sería que disminuya la CIC y aumente el Fe, que sería el comportamiento normal, por lo cual los resultados salen de la normalidad debido a la relación baja que se da en los coeficientes de correlación por la distribución de los puntos, especialmente los altos valores de T2.

En las observaciones de las variables químicas, se distinguen grupos de variables que presentan una mayor relación entre parámetros, destacando en superficie la asociación lineal entre la CE, N, P y K, los cuales se agrupan mayoritariamente hacia el T2b, que presentó los valores más altos para estas variables, mientras en profundidad estos valores disminuyen (Cuadro 11) y se muestra una mayor dispersión.

### **Alternativas de manejo productivo agroforestal**

Se planteó el diseño de dos sistemas de manejo productivo agroforestal asociados a la producción de aguacate (*P. americana*, var. Hass) con un manejo sustentable y ambiental, asociado a especies nativas de clima mediterráneo para el Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada los Tilos.

De acuerdo a la metodología de diseño participativo (Somarriba, 1998), se priorizó con los integrantes de la Fundación Somos Agua los objetivos de desarrollo que se llevarán a cabo en el predio Ensenada los Tilos. Conforme a lo anterior, los diseños de los sistemas agroforestales se enmarcan dentro del objetivo “definir e implementar sistemas agroforestales agroecológicos, enfocados en la producción de palta Hass, que permitan ser replicados y escalados en cultivos ya existentes con camellones”, donde también se plantearon unos objetivos específicos que son:

- Mejorar calidad y salud en el suelo
- Aumentar biodiversidad y servicios ecosistémicos
- Disminuir huella hídrica
- Aumentar resiliencia del cultivo y simbiosis entre especies
- Generar diversificación de productos
- Aumentar captación de C

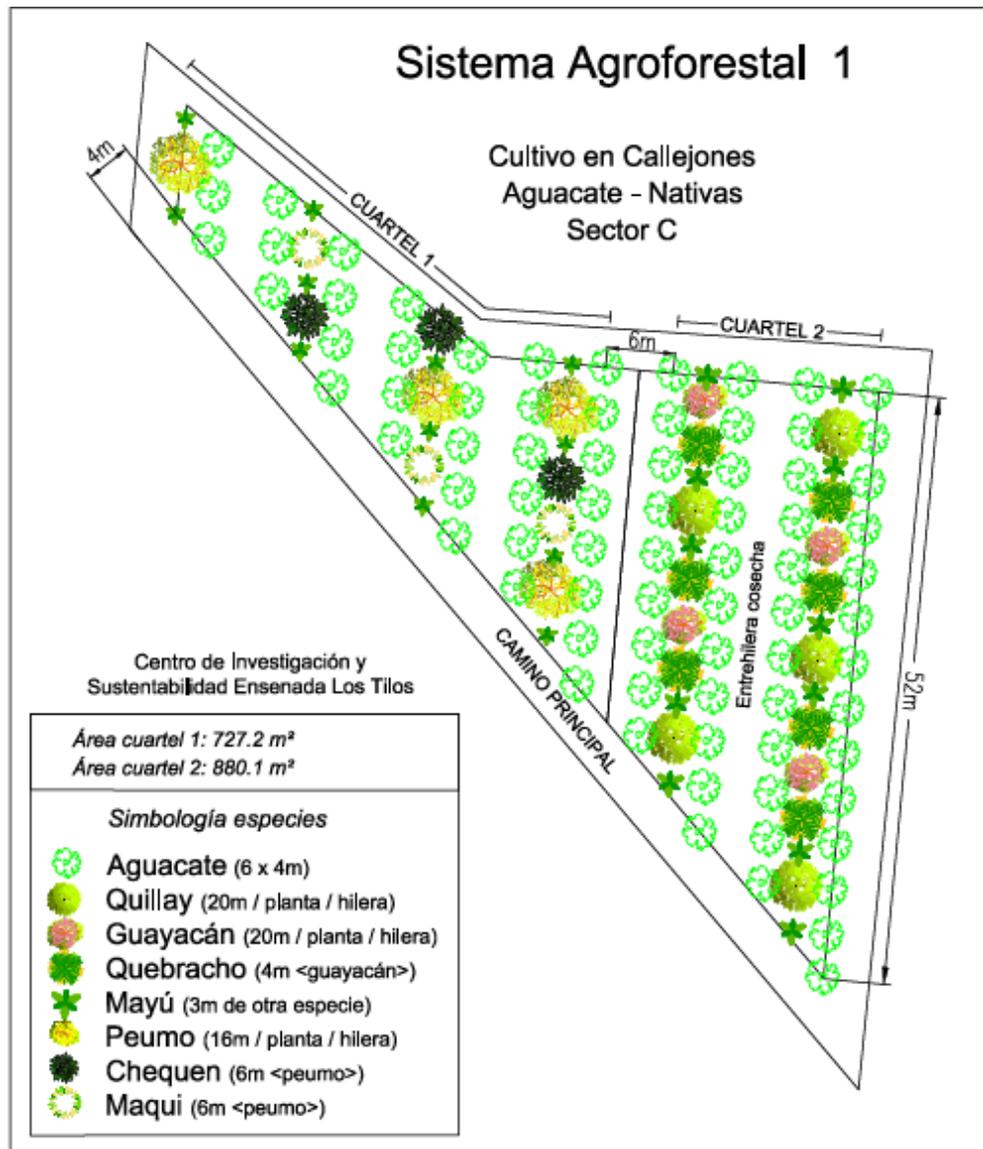
En este contexto, se seleccionaron especies nativas de importancia agroecológica (Anexo 1 al 7), dentro de las cuales se destaca principalmente el guayacán, que se encuentra en estado de conservación vulnerable, el peumo, quillay, mayú y quebracho, las cuales de acuerdo al inventario florístico que se llevó a cabo en este estudio, son las especies con mayor riqueza y abundancia en la zona, debido a su importancia y función dentro de los ecosistemas de bosque esclerófilo mediterráneo.

### **Selección de especies**

Se tuvo en cuenta para la selección de especies, factores como: tipo de suelo, usos y beneficios ambientales, asociaciones vegetativas entre especies, hábito de crecimiento, arquitectura de las plantas y desarrollo de copa, características biológicas y ecológicas, así como también el rango altitudinal de desarrollo y su estado de conservación. Cabe resaltar que estas especies cumplen un rol agroecológico muy importante, ya que ayudan en la conservación los suelos, manteniendo una cobertura y un aporte permanente de materia orgánica, lo cual será complementado en los dos primeros años de establecimiento con algunas especies herbáceas perennes o estacionales de acuerdo a la fecha de implementación de los sistemas (ver Anexo 9).

### **Diseño de sistemas agroforestales**

**Propuesta diseño agroforestal 1.** Se plantea el diseño de un sistema agroforestal de cultivo en callejones con múltiples especies nativas (Figura 6), donde el cultivo principal es el aguacate (*P. americana*, var. Hass), que estará establecido a una distancia de 6m entre hilera y 4m entre planta. El sector se dividió en 2 cuarteles, donde se establecerá una hilera de plantas nativas cada dos entrehileras del cultivo de aguacate, esto con la finalidad de dejar una entrehilera en medio para las labores de cosecha, fertilización y mantenimiento que requiere el cultivo.



**Figura 6.** Diseño sistema agroforestal 1, cultivo en callejones de aguacate con especies nativas en el sector C (identificar Paltos 2, en Figura 1) del predio Ensenada Los Tilos.

El cuartel 1 tiene un área de 727 m<sup>2</sup> y se establecerá: peumo (*Cryptocarya alba*), el cual estará plantado a 16 m entre árbol por hilera, para un total de 4 individuos; chequen (*Luma chequen*), a una distancia de 6 m del peumo; Maqui (*Aristotelia chilensis*) a 6 m del peumo y 4 m del chequen, mayú (*Sophora macrocarpa*) el cual estará a 3 m de cada especie entremedio y a una distancia de 6 a 8 m entre planta. La distribución en el espacio está dada en 4 hileras, que varían en distancia por la forma del terreno disponible para la implementación.

El cuartel 2 tiene un área de 880 m<sup>2</sup> y se establecerá: quillay (*Quillaja saponaria*) y guayacán (*Porlieria chilensis*) a una distancia de 20 m entre plantas de la misma especie en cada hilera; quebracho (*Senna candolleana*), el cual se plantará a 4 m del quillay y 4 m del guayacán, por

último una especie de porte arbustivo que es el mayú (*Sophora macrocarpa*), que estará plantado a una distancia de 3m a los costados del quillay.

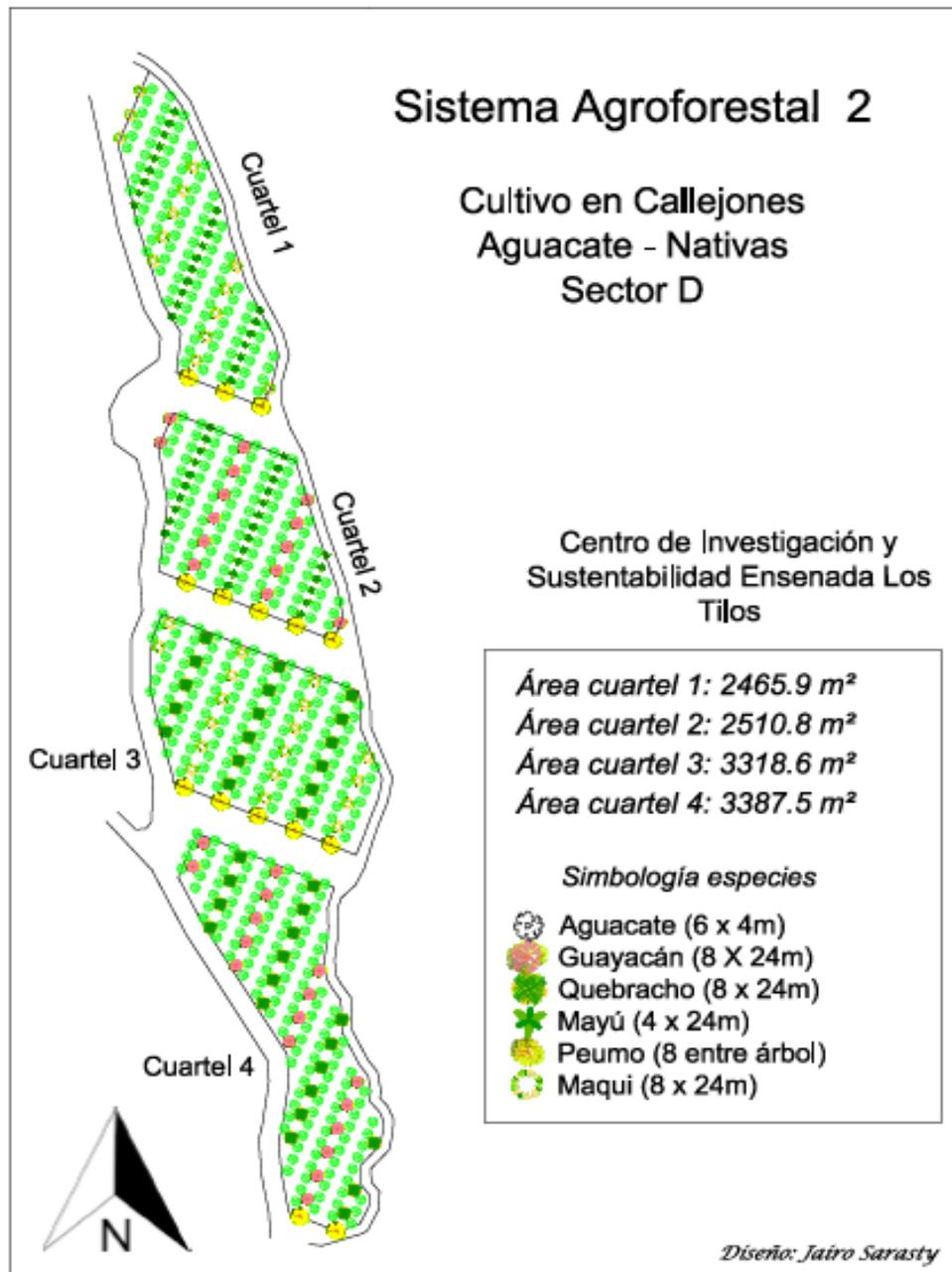
### Propuesta diseño agroforestal 2.

Este diseño se planteó en un sector al pie del bosque nativo (Figura 7); donde se establecerán 4 cuarteles. El cultivo principal es el aguacate, a una distancia de 6 m x 4m<sup>2</sup> asociado a dos especies nativas por cuartel. Se utilizó también el peumo en los bordes inferiores de los cuarteles para cumplir una función de barrera viva y ayudar en el control de heladas sobre el cultivo de aguacate. Los mapas de los diseños de los cuarteles se presentan en los apéndices 13, 14, 15 y 16 respectivamente.

Los cuarteles se diseñaron priorizando el cultivo principal, que es el aguacate, a una distancia de 6 m entre hilera y 4 m entre planta; se diseñaron además accesos para labores de cosecha y separación entre cuarteles. En el Cuadro 13 se presentan las características de cada cuartel con sus respectivas especies, distancias y área de cada diseño.

**Cuadro 13.** Características cuarteles sistema agroforestal 2.

Cuartel	Área	Especie	Distancia
1	2465,9 m <sup>2</sup>	Aguacate	6m x 4m
		Mayú	4m x 24m
		Peumo	8m entre árbol
		Maqui	8m x 24m
2	2510,8 m <sup>2</sup>	Aguacate	6m x 4m
		Mayú	4m x 24m
		Peumo	8m entre árbol
		Guayacán	8m x 24m
3	3318,6 m <sup>2</sup>	Aguacate	6m x 4m
		Quebracho	8m x 24m
		Peumo	8m entre árbol
		Maqui	8m x 24m
4	4387,5 m <sup>2</sup>	Aguacate	6m x 4m
		Guayacán	8 x 24 m
		Peumo	8m entre árbol
		Quebracho	8 x 24m



**Figura 7.** Diseño sistema agroforestal 2, cultivo en callejones de aguacate con especies nativas distribuido en cuatro cuarteles, sector D (costado derecho tranque de riego, Figura 1) del predio Ensenada Los Tilos.

### Preparación del terreno

**Preparación del suelo.** Para el aguacate se realiza la construcción de camellones, que es la acumulación de suelo sobre la futura hilera de plantación con el suelo de las entrehileras, alcanzando hasta 1,5 m de altura como estrategia para incrementar el volumen de exploración

de las raíces, esto debido a las restricciones al enraizamiento por la poca profundidad de los suelos (Beyá *et al.*, 2020). La adecuación del terreno se realizará con maquinaria facilitada por el Fundo los Tilos y se adecuarán camellones cada 6 m para el establecimiento del aguacate, el cual irá cada 4 m entre planta. Para el establecimiento de las especies nativas, se realizará una hoyadura de 40 cm x 40 cm x 50 cm de profundidad, con el fin de incorporar suelo junto con materia orgánica, esto debido a que estas especies se establecerán en las entrehileras del cultivo de aguacate, donde luego de realizar el aporque para la formación de los camellones, este perfil de suelo no tiene buenas condiciones estructurales como de fertilización, por lo cual se hace necesario poder realizar este proceso y garantizar el desarrollo de las especies nativas.

**Riego.** Se establecerá un sistema de riego por goteo en doble línea para el aguacate y una línea central entrehilera para las especies nativas; la submatriz de suministro a las líneas de riego, será independiente para los dos sistemas e irán conectadas a una válvula de suministro en la matriz principal. Los goteros serán de 2 L h<sup>-1</sup>, espaciados cada 50 cm en la línea de riego, tanto para los aguacate como para las especies nativas.

**Fertilización.** Se realizará mediante fertirriego, de acuerdo al plan de fertilización que se maneja en el campo. En el aguacate hay tres momentos claves en el ciclo de este frutal, por lo que es recomendable realizar una fertilización parcializada en aquellas épocas de mayor demanda de nutrientes (Martínez *et al.*, 2014), como se describe en el diagnóstico biofísico en requerimientos nutricionales. Respecto a las especies nativas, no se realizará ningún tipo de fertilización.

### **Elección de material vegetal**

El uso de especies nativas de crecimiento lento, permite un ciclo de nutrientes más largo y a su vez un mayor tiempo de retención de carbono (Sotomayor *et al.*, 2008), por lo cual se seleccionarán plantas con buen desarrollo inicial desde vivero. Esta condición la garantiza el vivero del predio Ensenada los Tilos y el Vivero Nativas, que se encuentra en la Comuna de Nogales y trabaja en colaboración con la Fundación Somos Agua, además en estos dos lugares también poseen material de alta de calidad de aguacate has, lo que garantiza el éxito del cultivo.

### **Método de siembra y plantación**

Los camellones para la siembra del aguacate estarán cada 6m, se realizará un ahoyado de 30cm x 30cm cada 4 m, donde además se realizará la incorporación de material orgánico con suelo. Para el establecimiento de las especies nativas, estas se sembrarán de acuerdo a las distancias descritas anteriormente en el diseño de los sistemas agroforestales, para esto, se realizará un ahoyado de 40cm x 40cm x 50cm en las entrehileras, donde se incorporará igualmente material orgánico con suelo.

## **Protección de los árboles**

Se realizará con empaques tripack reciclables, ubicados alrededor de la base de los árboles, con el fin de evitar el daño que puedan causar los roedores y lagomorfos, de manera de garantizar que las plantas tengan un óptimo desarrollo.

## **Manejo agroecológico**

Se realiza con el fin de optimizar el reciclado de nutrientes y de materia orgánica, así como conservar el agua y el suelo, y balancear las poblaciones de plagas y enemigos naturales.

**Resiembra.** Esta se realizará con el 10% del material vegetal que se seleccionará de cada especie. Se eliminará y reemplazará aquellos individuos que presenten baja adaptación y desarrollo, enfermedades o daños causados por plagas o animales, o que estén impidiendo el desarrollo óptimo de las especies que componen los sistemas agroforestales establecidos.

**Deshierba.** Se realizará de forma selectiva, arrancando de raíz las gramíneas y otras herbáceas o plantas invasivas que se expandan rápidamente cuando llegan a su estado de floración. El objetivo de la deshierba selectiva es dejar las especies de regeneración natural que ayuden a mejorar el sistema naturalmente, como el aporte de nitrógeno de las leguminosas o especies de hoja ancha que se pueden podar y aportar materia orgánica.

**Podas.** Se llevarán a cabo podas de formación, podas de producción, podas de estratificación y podas sanitarias de acuerdo a cada especie y a medida que van creciendo. En este proceso es importante picar todo el material vegetal y distribuirlo como cobertura para su posterior descomposición e incorporación al suelo como materia orgánica.

Para el aguacate se establecerá una poda de formación en su etapa adulta, manteniendo una altura de 3m y un diámetro de copa de 3m, ya que este tamaño de copa facilita las labores de cosecha y logra un máximo desarrollo del cultivo (Lemus *et al.*, 2010). A las especies nativas se les realizarán podas de mantenimiento y formación acorde al desarrollo que presente cada especie, evitando preferentemente que no genere daño al cultivo.

## CONCLUSIONES

La caracterización del sistema productivo de aguacate (*Persea americana*, var. Hass) bajo manejos convencional y agroecológico asociado a especies nativas en la ensenada los Tilos, permitió analizar el efecto sobre los componentes suelo y agua, aun considerando la variabilidad que presentaron las unidades de muestreo, lo cual permite aportar positivamente a la generación de servicios ecosistémicos del manejo agroecológico respecto a un manejo convencional.

Respecto a las características biofísicas y bióticas, se evidencia claramente una diferencia significativa acorde a la variabilidad espacial que presentan cada uno de los sistemas, observando una mayor riqueza y biodiversidad florística influenciada por el manejo y las condiciones de estructura vegetal característica de cada tratamiento. Así se registraron 19 especies arbóreas diferentes, con una alta diversidad en el sitio de vegetación nativa, abriendo la posibilidad de incrementar la riqueza en los manejos agroecológicos propuestos.

Por otra parte, se pudo comparar los efectos sobre el componente suelo, donde las variables físicas, químicas y biológicas como la estabilidad de agregados, densidad aparente, contenidos de materia orgánica, macronutrientes y macrofauna que se presentaron bajo la influencia del policultivo de aguacate, en especial bajo la influencia del guayacán, con resultados positivos en relación a un manejo de monocultivo y mostrando similitudes con el bosque esclerófilo original.

Proponer alternativas de manejo productivo agroforestal bajo un enfoque agroecológico, donde se incluyan especies nativas, aportará positivamente a la realización de estudios futuros de los sistemas de producción de aguacate (*P. americana*, var. Hass) en asociación con especies nativas en la zona central de Chile.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez, J., y G.A. Agredo. 2013. Pérdida de cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis, Manizales. Colombia. Revista Luna Azul. (37), 30-48.
- Alonso, J. 2012. Maqui (*Aristotelia chilensis*): un nutracéutico chileno de relevancia medicinal. Revista de Farmacología de Chile 5(2): 95-100.
- Alvarado, A., R. Mata, & M. Chinchilla. 2014. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: II. Mineralogía de arcillas en suelos con características vérticas y oxídico caoliníticas. Agronomía Costarricense, 38(1), 107-131.
- Anderson, J. M. e J. S. I, Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods, 2<sup>nd</sup> edition, CAB International, Wallingford.
- Angulo-Jaramillo, R., J.P. Vandervaere, S. Roulier, J.L. Thony, J.P. Gaudet, & M. Vauclin. 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments. Soil and Tillage Research, 55(1-2), 1-29.
- Argote Melendres, J. H. 2020. Efecto del riego parcial de la zona de raíces en el cultivo de papa Canchan mediante riego por goteo subterráneo.
- Balcazar Grandez, E. A. 2017. Elaboración de abono orgánico mediante el chanchito de tierra (*Porcellio scaber*), a partir de Residuos Orgánicos en Sjl-2017.
- Balvanera, P., & H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta ecológica, (84-85), 8-15.
- Ballesteros, W., & M. Musalém. 2003. La Agroforestería como alternativa para el desarrollo sostenible en Rosamorada, Nayarit, Mexico. Revista de Ciencias Agrícolas 20 (1 y 2).
- Bautista, L., & J. Ramos. 1988. Análisis de datos de encuestas y tabulados. Universidad Nacional, Bogotá.
- Bender, G. S., & B. Faber. 1999. Avocado fertilization. University California Cooperative Extension. San Diego, CA.
- Benoit, I.L. 1989. Libro rojo de la flora terrestre de Chile (Primera Parte): 157p. CONAF, Santiago de Chile.
- Benton, J. 2002. Agronomic handbook, management of crops, soils and their fertility. Florida, United States of America: CRC Press. 482 p.
- Bernal, J. A., C.A. Díaz, A. Tamayo, O.D.J. Cordoba, M.E. Londoño, P.J. Tamayo, & M. Londoño. 2008. Tecnología para el cultivo del aguacate. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Antioquia (Colombia).
- 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, Swedish. 116 p.
- Beyá-Marshall, V., O. Seguel, B. Baeza. 2020. Diagnóstico de las condiciones físicas de suelo y su relación con el potencial productivo de paltos y cítricos en la Región de O'Higgins. pp: 12-25. En: Beyá-Marshall, V., Galleguillos, M. (eds.). Optimización del riego en paltos y cítricos. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 34.

- Bonilla, C.A., and O.I. Johnson. 2012. Soil erodibility and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*. 189-190, 116-123.
- Brechelt, A. 2004. Manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente. Red de acción de Plaguicidas y sus alternativas para América Latina.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J.C. Patrón, J. Bueno, A.G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz, y C. Rodríguez. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta zoológica Mexicana*, Número especial (1): 79-110.
- Callejas, R., J. Vera y C. Kremer. 2014. Riego de precisión en frutales con sensores de suelo. Serie Ciencias Agronómicas N° 23. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago. 112p.
- Carsel, R. F. and R. S. Parrish, 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resource Research*, (24): 755-769.
- Casanova, M., B. Ticona, O. Salazar, E. Gratacós, M. Pfeiffer, G. Ávila, Y. Tapia, O. Seguel and C. SAbaini. 2020. Physical assessment of a Mollisol under agroecological management in the Quillota Valley, Mediterranean Central Chile. *International journal of agricultura and natural resources*. 47(3): 261-279.
- Casanova, M., C. Leiva, O. Seguel, O. Salazar y W. Luzio. 2006. Degradación de suelos y desertificación. pp: 353-383. En: Luzio, W., Casanova, M. (Eds.). *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Santiago, Chile.
- Casanova, M., O. Salazar, O. Seguel, F. Nájera, R. Villarroel and C. Leiva. 2012. Long-term monitoring of soil fertility of agroforestry combined with water harvesting in Central Chile. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 58(S1), S165-S169.
- Casas Flores, R. 2012. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Editorial Paraninfo.
- Chenu, C., Y. Le Bissonais, & D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1479-1486.
- CIREN y ODEPA. 2020. Catastro Frutícola. Región de Valparaíso, principales resultados. Publicación conjunta de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA, y el Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN. Santiago, Chile. Disponible en: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70428/catastroFruticolaValpo2020.pdf> (Consultado en septiembre de 2020).
- CIREN, 2009. Estudio Agrológico V Región. Descripciones de suelos, materiales y símbolos Publicación CIREN No. 116. Versión digital. Santiago, Chile.
- Cobello, H. 2014. Degradación de suelos y desertificación. [En línea]. Actas Congreso Internacional de Geografía-75° Semana de Geografía. Universidad Católica de Santiago del Estero-UCSE, Argentina. Disponible en: [http://www.gaea.org.ar/Actas2014\\_Cobelo.pdf](http://www.gaea.org.ar/Actas2014_Cobelo.pdf) (consultado en julio de 2020).
- Cortina, E. J., L. Santana, B.K. Singh, & M. Weil. 2000. Elaboración y evaluación de bioestimulantes a partir de materia orgánica suspendida en agua de río (No. PG 08 2000).
- Crowley, D. 2007. Managing soils for avocado production and root health. *California Avocado Society*, (90), 107-130.
- Curtis, JT., and RP, Mcintosh 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. (32), 476-496.

- 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.
- Dimoyiannis, D. 2009. Seasonal soil aggregate stability variation in relation to rainfall and temperature under Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(6), 860-866.
- Donoso, S., K. Peña, C. Pacheco, G. Luna, & A. Aguirre. 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. *Bosque (Valdivia)*, 32(2), 187-195.
- Donoso, Z.C. 2007. Árboles Nativos de Chile: Guía de identificación. Valdivia, Chile: Marisa Cuneo Ediciones, 136 p.
- Dorner, J., y D, Dec. 2007. La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de poros del suelo. *R C Suelo Nutr Veg* 7:1–13. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000200001>
- Durán-Bautista, E. H. & J.C. Suárez-Salazar. 2013. Fauna del suelo y hojarasca en arreglos agroforestales de la Amazonia Colombiana. *Momentos de Ciencia*. 10 (1):59-66.
- Ellerbrock R. H., Gerke, H.H. Bachmann J., and M.-O. Goebel. 2005. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, (69):57–66.
- Ellies, A., R. Grez, & C. Ramírez. 1995. Cambios en las propiedades humectantes de suelos sometidos a diferentes manejos. *Turrialba Volumen* 45.
- Espejo, J., C.M. Baeza, J. Loureiro, C. Santos, D. Boshier, & E. Ruiz. 2016. Exploratory karyological and genome size studies in Chilean *Sophora* species. *New Zealand Journal of Botany*, 54(3), 311-322.
- Fageria, N. K., M.B. Filho, A. Moreira, & C.M. Guimarães. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition*, 32(6), 1044-1064.
- Ferreira, R., G. Sellés, P. Maldonado, J. Celedón, C. Barrera y P. Gil. 2006. La asfisia radicular y el manejo de riego en paltos. Seminario Internacional manejo del riego y suelo en el cultivo de palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Cruz, Chile, 27-28
- 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.
- Garrido, M., H. Bown, J. Ayamante, M. Orell, A. Sánchez, and E. Acevedo. 2020. The adjustment of *Prosopis tamarugo* hydraulic architecture traits has a homeostatic effect over its performance under descent of phreatic level in the Atacama Desert. *Springer Nature*. (34): 89-99p.
- Gaspar-Santos, E. S., M. González-Espinosa, N. Ramírez-Marcial, & J.D. Álvarez-Solís. 2015. Acumulación y descomposición de hojarasca en bosques secundarios del sur de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Bosque (Valdivia)*, 36(3), 467-480.
- Gil, P., G. Selles, R. Ferreira y C. Barrera. 2009. Manual de riego para paltos y cítricos. 146p. Centro Regional de Investigación La Cruz, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Cruz, Chile.
- Gliessman, S. 2000. *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. California: CRC Lewis Publishers.
- Hechenleitner, P., M. Gardner, P. Thomas, C. Echeverría, B. Escobar, P. Brownless, y C. Martínez. 2005. *Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile*. Distribución,

- Conservación y Propagación. Primera Edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo, Valdivia. 188p.
- Hoffmann, J.A. 1979. Flora silvestre de Chile. Zona central. Una guía para la identificación de las especies vegetales más frecuentes. Santiago, Chile: Fundación Claudio Gay. 255p.
- Horn, R., K.H. Hartge, J. Bachmann, and M. B. Kirkham. 2007. Mechanical stresses in soils assessed from bulk-density and penetration-resistance data sets. *Soil Science Society of America*. Vol. 71. (5):1455-1459.
- Horn, R., Taubner, H., Wuttke, M., Baumgartl, T., 1994. Soil physical properties related to soil structure. *Soil & Tillage Research* (30), 187-216.
- Horn, R., & H. Fleige. 2009. Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany at farm scale. *Soil and Tillage Research*, 102(2), 201-208.
- Huerta, E., G. Brown. y F. Bautista. 2011. Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra. pp. 449-499. In: F. Bautista-Zúñiga, J. L. Palacio-Prieto y H. Delfín-González (eds.). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. ISBN: 9786070221279.
- INTAGRI. 2018. Disponibilidad de nutrimentos y el pH del suelo. Serie nutrición vegetal. Núm. 113. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 4p.
- Jin, K., J. Shen, R.W. Ashton, I.C. Dodd, M.A. Parry, & W.R. Whalley. 2013. How do roots elongate in a structured soil? *Journal of experimental botany*, 64(15), 4761-4777.
- Jury, W.A and R. Horton. 2004. *Soil Physics*. Sixth Edition. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 370 p.
- Keller, T., M. Sandin, T. Colombi, R. Horn, & D. Or. 2019. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, (194), 104293.
- Krishnamurthy, L., y M. Ávila. 1999. *Agroforestería básica*. PNUMA-FAO. Red de Información Ambiental. México.
- Lara, A., M.E. Solari, M.R. Prieto y M. Peña. 2012. Reconstrucción de la cobertura de la vegetación y uso del suelo hacia 1550 y sus cambios a 2007 en la ecorregión de los bosques valdivianos lluviosos de Chile (35° – 43° 30' S). *BOSQUE*. 33(1), 13-23.
- Lavelle, P., T. Decaëns, M. Aubert, S. Barota, M. Blouina, F. Bureau, P. Margerieb, P. Mora, & J. Rossi. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 3. 42:S3–S15. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- Lemus, G., R. Ferreyra, P. Gil, P. Sepúlveda; P. Maldonado, C. Toledo, C. Barrera, y J. Celedón. 2010. *El Cultivo del Palto*. Centro Regional de Investigación La Platina, Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA). La Cruz, Chile. Boletín INIA No. 129. 76 pp.
- Lide, D.R. 1999. *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC Press. Washington D.C.
- Lindstrom, M.J y W.B. Voorhees. 1994. Respuestas de cultivos templados en América del Norte a la compactación del suelo. En: BD Soane, C. Van Ouwerkerk (eds). *Compactación del suelo en la producción de cultivos*. Nueva York, Estados Unidos. 265-286.
- Luzio, W. (Ed.), M. Casanova, O. Seguel. 2010. *Suelos de Chile*. Universidad de Chile. Maval Impresores. 338 p.
- Loayza, A. P., R.S. Rios, & D.E. Carvajal. 2015. *Porlieria chilensis* (Guayacán) CONAF, Informe 2015.

- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Martínez, J., V. Muena y R. Ruiz. 2014. Nutrición y Fertilidad de Paltos. (Bol. INIA N° 283). Centro Regional de Investigación La Cruz, Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), Ministerio de Agricultura. La Cruz, Chile. 78 p.
- Matteucci, D. S. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C.
- Mengel, K. & E. Kirby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Basilea, Suiza: Instituto internacional de potasio.
- Mostacedo, B., & T. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal
- Mundaca, R. 2015. La privatización de las aguas en Chile, causas y resistencias. Segunda Edición, marzo de 2015. LOM Editores. Santiago, Chile.
- MUNICIPALIDAD DE HIJUELAS. 2014. Diagnóstico Ambiental Comunal de Hijuelas. Implementación del Sistema de certificación Ambiental Municipal, Nivel Básico.
- Muñoz-Duque, L. A., M.M. Osorno, & A.B. Vargas. 2020. Despojo, conflictos socioambientales y violación de derechos humanos. Implicaciones de la gran minería en América Latina. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 23(1).
- Muñoz, M., & M.T. Serra. 2006. *Porlieria chilensis* I. M. Johnston, Guayacán, Palo santo. Disponible en [http://www.conama.cl/clasificacionespecies/Anexo\\_tercer\\_proceso/Porlieria\\_chilensis.doc](http://www.conama.cl/clasificacionespecies/Anexo_tercer_proceso/Porlieria_chilensis.doc)
- Nadal-Romero, E., D. Regüés, P. Salvador, y D. Torri. 2009. La estabilidad de los agregados del suelo en ambientes forestales y acarcavados del Pirineo Centra. Rev. C&G, 23 (1-2).
- Nair, P. K. R. 1998. Directions in tropical agroforestry research: past, present, and future. Agroforestry Systems, (38), 223-245.
- Nájera, F., Y. Tapia, C. Baginsky, V. Figueroa, R. Cabeza and O. Salazar. 2015. Evaluation of soil fertility and fertilization practices for irrigated maize (*Zea mays* L.) under Mediterranean conditions in central Chile. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 15(1), 84-97.
- Nario, A., A. M. Parada, X. Videla, I. Pino, M. Acuña, M. Casanova, O. Seguel, W. Luzio, M. Balderacchi, E. Capri, J. Moya, R. Astete, P. Enríquez, and J. Chamorro. 2018. Indicators of good agricultural practices in viticulture. pp: 261-270. In: Maestroni, B., Cannavan, A. (eds.) Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management. Academic Press – Elsevier. Viena, Austria.
- Nissen, J., C. Quiroz, O. Seguel, R. Mac Donald y A. Ellies (In memoriam). 2005. Variación del potencial mátrico durante el movimiento de agua en Andisoles. Agro Sur 33(1): 36-47.
- Novoa, V., R. Ahumada-Rudolph, O. Rojas, K. Sáez, F. de la Barrera, & J. L. Arumí. 2019. Understanding agricultural water footprint variability to improve water management in Chile. Science of the Total Environment. (670), 188-199.
- ODEPA. 2019. Panorama de la Agricultura Chilena. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. Disponible en <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/28953> (consultado en agosto de 2020).

- ODEPA. 2020. Evolución de la Fruticultura Chilena en los Últimos 20 Años. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. Disponible en: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70234/evolucionFruticulturachilena.pdf> (Consultado en septiembre de 2020).
- Osorio, A. (ed). 2013. Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. Serie Actas N° 50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Pagliai, M. and N. Vignozzi. 2002. The soil pore system as an indicator of soil quality. pp. 71-82. In: Pagliai, M. and R. Jones, (Eds). Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. Advances in Geocology 35. IUSS. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 588 p.
- Panez-Pinto, A., P. Mansilla, y A. Moreira. 2018. Agua Tierra y Fractura Sociometabólica del Agronegocio. Actividad frutícola en Petorca, Chile. Bitácora Urbano Territorial. 28(3), 153-160.
- Peláez Morales, H. A., M.C. Prada Fonseca, G. Caicedo Pineda, C.X. Moreno Herrera, & M.A. Márquez Godoy. 2013. Influencia de la relación inicial de  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ , en un proceso de biodesulfurización de carbones en suspensión. Revista internacional de contaminación ambiental, 29(2), 211-217.
- Pérez, S., G. Ávila y O. Coto. 2015. El aguacatero (*Persea americana* Mill.). Cultivos Tropicales. (36), 111-123.
- Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content. Soil Science Journal, (84): 329-339.
- Raintree, J. B. 1987. The state of the art of agroforestry diagnosis and design. Agroforestry systems, 5(3), 219-250.
- Ramírez-Trujillo, A. 2003. Ecología aplicada. Fundación Universidad de Bogotá. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 325 p.
- Reynolds, W. 2006. Unsaturated hydraulic properties: Field tension infiltrometer. In: Carter, M.R., E.G., Gregorich (Eds.): Soil Sampling and Methods of Analysis. (2nd Ed.). Canadian Society of Soil Science, CRC Press, Taylor & Francis Group, pp: 1101-1121.
- Reynolds, W., 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.
- Riedemann, M., M. Paulina, N. Aldunate, & G. Eduardo. 2001. En: Agenda del Salitre SOQUIMICH. 2001.
- Rockström J., J. Williams, G. Daily, A. Noble, N. Matthews, L. Gordon, H. Wetterstrand, F. DeClerck, M. Shah, P. Steduto, C. Fraiture, N. Hatibu, O. Umer, J. Bird, L. Sibanda and J. Smith. 2017. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. Ambio. 46, 4-17.
- Rodríguez, R., O. Matthei, y M. Quezada. 1983. Flora Arbórea de Chile. Concepción, Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. 408 p.
- Rousseau, L., S. Fonte, O. Téllez, y P. Lavelle. 2013. Caracterización de la macrofauna edáfica en sistemas de producción intensiva en césped. Pastos y forrajes. 37(2), 158-165.
- Sadzawka R., A., M.A. Carrasco, R. Grez, M.L Mora, H. Flórez y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA No. 34. Santiago, Chile.

- Salvo, J. 2020. El palto y las heladas. P.78-89. In: Bravo, R., Muñoz, M. y Quintana, J. (eds.). Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Boletín N° 417. 102 pp.
- Salvo, J., A. Torres, N. Olivares, J. Riquelme, L. Leris, F. Rodríguez y P. Abarca. 2017. Manual del cultivo del palto. Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)-Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Santiago, Chile. Boletín INIA No. 13. 118 p.
- Sandoval M., J. Dörner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Publicación N° 5, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Schäffer, B.; W. Attinger and R. Schulin. 2007. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery. Soil physical and mechanical aspects. Soil and Tillage Research 93(1): 28-43.
- Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham, and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. 45-211. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, NE, USA.
- Schulten, H. R. and M. Schnitzer. 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: (review). Biology Fertility of Soils, (26): 1–15.
- Schulz, J., L. Cayuela, C. Echeverría, J. Salas, and J. Rey Benayas. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). Applied Geography. 30(3), 436–447.
- 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. Agr. Tec. (Chile) 63(3), 277-297.
- 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., y P. Fernández. 2012. Efecto del uso de ácido sulfúrico y ácido húmico sobre las propiedades del suelo y crecimiento del palto. Redagráfica.
- Seguel, O., C. Baginsky, A. Contreras, J. 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 of use from native forest to vineyard. Agro Sur 43(2), 23-39.
- Seguel, O., G. Arancibia, R. Callejas, A. Sandoval, A. Matamoros. 2018. Relación entre propiedades físicas de suelo y el potencial productivo de frutillas. pp: 13-30. En: Callejas, R., Díaz, V. (eds.). Cultivo de la frutilla con identidad regional: Una visión actualizada de la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins, Provincia Cardenal Caro. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 30.
- Serra, M.T., R. Gajardo, & A. Cabello. 1986. *Porlieria chilensis*. Programa de protección y recuperación de la flora nativa de Chile. Ficha técnica de especies amenazadas. Corporación Nacional Forestal, Santiago de Chile, 23p.
- Siebold, E. 2002. Forrajeras nativas y naturalizadas: un gran valor. [en línea]. Tierra Adentro. No. 42. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5897> (Consultado: 14 marzo 2022).
- Sierra Castrillo, J., L.J. Gómez-Rave, A.X. Muñoz, F. Ramírez-Hoyos, I. Patiño-Rojas, S. Zapata-Baron, & V. Bermúdez-Pirela. 2020. Evaluación de la actividad antimicrobiana

- in vitro de extractos de *Persea americana* (Aguacate) variedad Choquette sobre el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.
- Somarriba, E. 1998. Diagnóstico y diseño agroforestal. Agroforestería en las Américas v. 5 (17-18) p. 68-72.
- Soto, L., M. Galleguillos, O. Seguel, B. Sotomayor, & A. Lara. 2019. Assessment of soil physical properties' statuses under different land covers within a landscape dominated by exotic industrial tree plantations in south-central Chile. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(1), 12-23.
- Sotomayor, A. y S. Barros. 2016. Los Sistemas Agroforestales en Chile, Instituto Forestal, Chile.
- Sotomayor, A., A.A. Lucero, & V. Vargas. 2008. Cartilla agroforestal n° 7: protección y recuperación de riberas cursos de agua. Instituto de Investigación Forestal (INFOR), Chile.
- Tisdale, S. L. y W.L. Nelson. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Editorial Limusa. México. D. F. 760 p.
- Tomašić, M., Ž. Zgorelec, A. Jurišić, & I. Kisic. 2013. Cation exchange capacity of dominant soil types in the Republic of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*.
- Torres-Chatí, J., J. León-Quispe, & G. Tomas-Chota. 2017. Actividad antibacteriana y antifúngica de extractos de hojas de *Luma chequen* (Molina) A. Gray “arrayán” frente a patógenos de origen clínico. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 37(1), 10-16.
- Traoré, O., V. Groleau-Renaud, S. Plantureux, A. Tubeileh, and V. Boeuf-Tremblay. 2000. Effect of root mucilage and modelled root exudates on soil structure. *Eur. J. Soil Sci.* (51): 575-581.
- Undurraga, P. 2000. Recomendaciones de fertilización. Instituto de Investigaciones Agropecuarias – INIA. Centro Regional de Investigación Remehue. Serie Actas No. 2.
- USDA. 2017. Soil survey manual. Soil Science Division Staff. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C
- Van Genuchten M. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society of America Journal*, (44): 892-898.
- Voller, L. 2017. Avocados and stolen water. *Danwatch*. Disponible en: <https://old.danwatch.dk/en/undersogelse/avocados-and-stolen-water/> (Consultado en mayo de 2020).
- Whiley, A.W. 2007. Manejo del cultivo. En A. W. Whiley, B. Schaffer, B. N. Wolstenholme (Eds.). El Palto. Botánica, producción y usos (pp. 215-240). Valparaíso, Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Youlton, C., P. Espejo, J. Biggs, M. Norambuena, M. Cisternas, A. Neaman and E. Salgado. 2010. Quantification and control of runoff and soil erosion on avocado orchards on ridges along steep-hillslopes. *Ciencia e Investigación Agraria*. 37(3), 113-123.
- Zhang, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society America Journal*, (61): 1024-1030.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Descripción morfológica de los perfiles de suelo.

#### 1.1 Perfil T1. Descripción del perfil de suelo en el sitio de aguacate hass (*Persea americana*) en monocultivo con manejo convencional de 16 años, pendiente entre el 3 al 7 %.

Prof. (cm)	
0 – 4	Orujo de uva y hojarasca en descomposición; raíces finas abundantes
4 – 16	Bloques subangulares finos; raíces finas y medias abundantes; poros finos; gravas medias y finas.
16 - 31	Bloques subangulares finos y gruesos; raíces medias y gruesas abundantes, finas escasas; poros finos abundantes; gravas finas, medias y gruesas escasas.
31 – 63	Bloques subangulares finos y moderados con grava fina y media (60%); raíces gruesas, medias y finas escasas.

#### Observaciones:

Calicata sobre camellón del cultivo entre medio de 2 árboles de aguacate adultos

#### 1.2 Perfil T2. Descripción de perfil de suelo en el sitio de aguacate hass (*Persea americana*) en asocio con guayacán (*Porlieria chilensis*) con un manejo agroecológico de 15 años, pendiente entre el 3 al 7 %.

Profundidad (cm)	
0 – 6 O	Acumulación de hojarasca en descomposición con abundante actividad y presencia de hongos; rocas de tamaño pequeño; raíces finas pequeñas y delgadas; límite lineal claro con el horizonte mineral.
6 – 18 A1	Bloques subangulares finos y medios moderados a fuertes; poros finos y gruesos abundantes; raíces finas abundantes y medias comunes; grava fina y media común; límite lineal claro.
18 – 32 A2	Bloques subangulares finos y gruesos moderados; raíces finas y medias abundantes, gruesas comunes; poros finos gruesos abundantes; clastos de tamaño grava a guijarro abundantes, de tamaño medio en un 40%; límite lineal claro.
32- 60	Bloques subangulares finos a moderados; grava fina, media abundante y guijarros (60%); raíces finas y gruesas muy escasas.

Observaciones: No hay.

**Calicatas bajo la influencia del aguacate.** Camellón de 60 cm de altura, con abundante hojarasca en descomposición que cae a la entrillera, evidencia de aplicaciones de orujo de uva. En los 0 a 13 cm de profundidad presencia de algunas raíces finas escasas con síntomas de hipoxia.

**Calicatas bajo la influencia del guayacán.** Abundante actividad de hongos y micelios entre los 3 y 16 cm de profundidad. Guayacán en camellón con riego y en una calicata guayacán sin riego, no hay camellón.

**1.3 Perfil T3.** Descripción de perfil de suelo en el sitio de aguacate hass (*Persea americana*) en asocio con peumo (*Cryptocarya alba*) con un manejo agroecológico de 20 años, pendiente entre el 4 al 10 %.

Prof. (cm)	
0 – 5 O	Mantillo de hojarasca en descomposición que incrementa hacia el límite; límite lineal claro
5 – 16 A	Bloques subungueales finos y medios; grado fuerte, con raíces finas comunes, medias y gruesas escasas; poros abundantes; límite lineal claro.
16 – 33 B1	Bloques subangulares finos y medios moderados; raíces finas, medias comunes y gruesas abundantes; límite lineal claro.
33 – 55 B2	Bloques subangulares medios y gruesos moderados; raíces finas y medias escasas, gruesas pocas; poros finos abundantes; límite ondulado claro; gravas medias y finas abundantes en profundidad (60%); sustrato de clastos de ligera meteorización.

Observaciones:

Aguacate y peumo con riego.

Primer horizonte más alterado con bloques que llegan hasta tamaño medio y grado moderado. Pedregoso en todo el perfil, débilmente estructurado con tendencia a grado simple y abundantes raíces de distribución muy homogénea.

**1.4 Perfil T4.** Descripción de perfil de suelo en el sitio de vegetación nativa de matorral esclerófilo con manejo natural, donde se encuentran asociadas especies como guayacán (*Porlieria chilensis*), peumo (*Cryptocarya alba*) y mayú (*Sophora macrocarpa*), con pendientes entre el 5 al 12 %.

Profundidad (cm)	
0 – 4 O	Pequeño horizonte A con acumulación de M.O; bloques subangulares muy finos, moderados; límite lineal abrupto.
4 – 15 A	Bloques subangulares finos a fuertes, medios moderados; raíces finas escasas, medias comunes hacia el límite, gruesas pocas; poros finos abundantes, medios comunes; gravas finas y medías abundantes (40%); límite lineal claro.
15 – 34 B	Sustrato de clastos redondeados y sobredondeados en un 80%; raíces finas, medias y gruesas abundantes; matriz de grano simple (80%) con tendencia a bloques subangulares finos y medios moderados (20%); gravas gruesas y medias; poros finos y medios abundantes; límite lineal claro.
34 – 60 C	Sustrato de gravas, guijarros y piedras (80%); raíces finas y medias escasas; matriz franca de grano simple.

Observaciones:

Hojarasca en descomposición con pequeño mantillo en superficie.

No hay mantillo evidente y continuo.

En algunos sectores se presenta matriz de grano grueso en profundidad.

**Apéndice 2.** Inventario florístico con la respectiva frecuencia, abundancia y estado de vulnerabilidad por cada especie.

# Indiv.	Nombre científico	Frecuencia		Abundancia		Estado de vulnerabilidad
		Fa	Fr	Aa	Ar	
<b>Tratamiento 1 (monocultivo de aguacate)</b>						
18	<i>Persea americana</i> Mill	1	100	0,05	100	-
<b>Tratamiento 3 (Policultivo aguacate - guayacán)</b>						
16	<i>Persea americana</i> Mill	1	50	0,04	88,89	-
2	<i>Porlieria chilensis</i>	1	50	0,01	11,11	VU
<b>Tratamiento 3 (Policultivo aguacate - peumo)</b>						
16	<i>Persea americana</i> Mill	1	50	0,04	88,89	-
2	<i>Cryptocarya alba</i> (Molina) Looser	1	50	0,01	11,11	-
<b>Tratamiento 4 (Bosque esclerófilo)</b>						
3	<i>Beilschmiedia miersii</i> (Gay) Kosterm	1	6,25	0,01	1,70	VU
12	<i>Peumus boldus</i> Molina	1	6,25	0,03	6,82	-
3	<i>Kageneckia oblonga</i> Ruiz et Pav.	1	6,25	0,01	1,70	-
1	<i>Drimys winteri</i> J.Forst. Et G.Forst	0,5	3,13	0,00	0,57	EN (XV-VI)
28	<i>Colliguaja odorifera</i>	1	6,25	0,07	15,91	-
5	<i>Colletia spinosissima</i>	1	6,25	0,01	2,84	-

4	<i>Acacia caven</i> (Molina) Molina	1	6,25	0,01	2,27	-
28	<i>Porlieria chilensis</i>	1	6,25	0,07	15,91	VU
3	<i>Azara serrata</i> Var <i>fermandeziana</i>	1	6,25	0,01	1,70	CR
20	<i>Lithrea caustica</i> (Molina) Hook. Et Arn.	1	6,25	0,05	11,36	-
1	<i>Escallonia pulverulenta</i> (Ruiz et Pav.) Pers.	0,5	3,13	0,00	0,57	-
32	<i>Cryptocarya alba</i> (Molina) Looser	1	6,25	0,08	18,18	-
8	<i>Quillaja saponaria</i> Molina	1	6,25	0,02	4,55	-
18	<i>Sophora macrocarpa</i>	1	6,25	0,05	10,23	-
3	<i>Senna stipulacea</i> H.S.Irwin & Barneby	1	6,25	0,01	1,70	-
5	<i>Baccharis linearis</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	1	6,25	0,01	2,84	-
1	<i>Lobelia tupa</i>	0,5	3,13	0,00	0,57	-
1	<i>Retanilla trinervia</i>	0,5	3,13	0,00	0,57	-

Fa: frecuencia absoluta; Fr: frecuencia relativa; Aa: abundancia absoluta; Ar: abundancia relativa; VU: vulnerable; EN: En Peligro (XV-VI región); CR: En Peligro Crítico.

### Apéndice 3. Textura para la profundidad 2 (15-30cm) y profundidad 3 (30-60cm).

#### 3.1. Detalle de la proporción de arenas, arcillas y limos (promedio $\pm$ DS) con su respectiva clase textural y fracción gruesa (partículas $>2\text{mm}$ ) para la profundidad 2 (15-30cm).

Tratamiento	Fracción gruesa (%)	Profundidad 15 – 30 cm			Clase textural USDA
		Arena %	Arcilla %	Limo %	
T1 Agu_M	39,93	62,17 $\pm$ 10,49	13,97 $\pm$ 4,69	23,85 $\pm$ 7,38	Fa
T2a Agu_G	55,03	61,27 $\pm$ 2,97	12,57 $\pm$ 1,09	26,16 $\pm$ 2,50	Fa
T2b G_Agu	44,15	64,76 $\pm$ 8,46	12,00 $\pm$ 2,17	23,23 $\pm$ 6,35	Fa
T3a Agu_P	21,07	48,41 $\pm$ 15,64	20,65 $\pm$ 7,14	30,94 $\pm$ 8,67	F
T3b P_Agu	26,88	47,36 $\pm$ 16,38	18,26 $\pm$ 8,71	34,37 $\pm$ 8,07	F
T4 BNa	49,51	71,82 $\pm$ 7,54	9,88 $\pm$ 3,65	18,30 $\pm$ 4,59	Fa

Clasificación de acuerdo a la clase textural USDA: Fa: Franco arenoso y F: Franco.

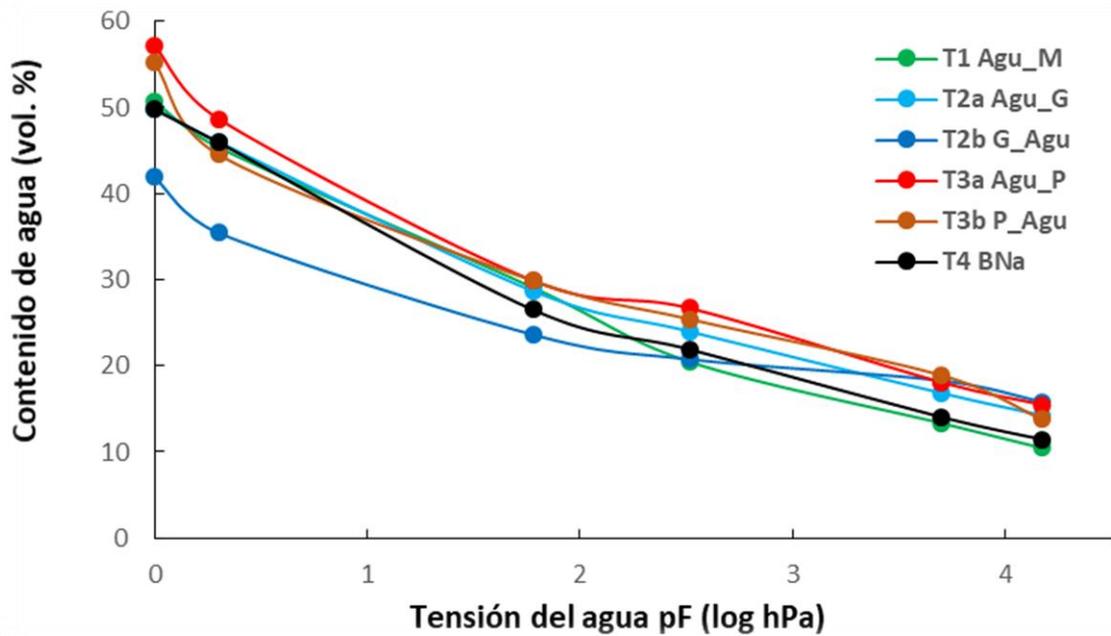
#### 3.2. Detalle de la proporción de arenas, arcillas y limos (promedio $\pm$ DS) con su respectiva clase textural y fracción gruesa (partículas $>2\text{mm}$ ) para la profundidad 3 (30-60cm).

Tratamiento	Fracción gruesa (%)	Profundidad 30 – 60 cm			Clase textural USDA
		Arena %	Arcilla %	Limo %	
T1 Agu_M	43,68	57,85 $\pm$ 9,38	16,27 $\pm$ 4,56	25,88 $\pm$ 5,32	Fa
T2a Agu_G	39,14	55,48 $\pm$ 3,62	19,26 $\pm$ 1,38	25,26 $\pm$ 3,05	Fa
T2b G_Agu	36,65	59,16 $\pm$ 10,94	16,38 $\pm$ 4,91	24,46 $\pm$ 6,83	Fa
T3a Agu_P	27,36	48,29 $\pm$ 17,77	24,69 $\pm$ 11,45	27,02 $\pm$ 9,25	FAa
T3b P_Agu	23,45	45,34 $\pm$ 15,77	25,14 $\pm$ 11,49	29,52 $\pm$ 5,32	F
T4 BNa	55,70	72,77 $\pm$ 8,62	9,96 $\pm$ 4,67	17,27 $\pm$ 5,73	Fa

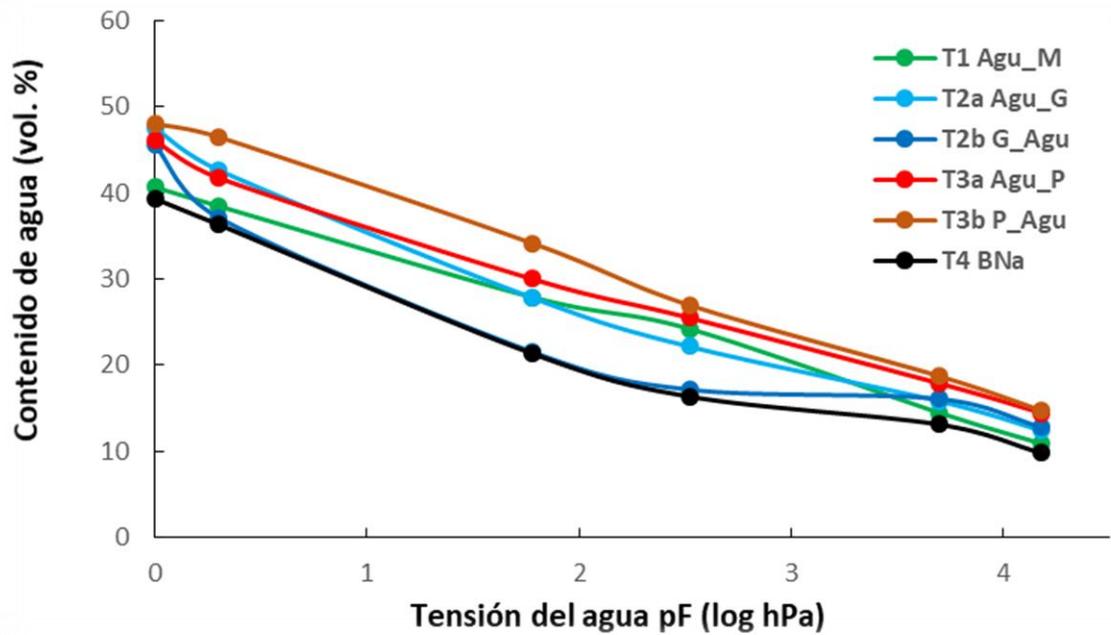
Clasificación de acuerdo a la clase textural USDA: Fa: Franco arenoso, FAa: Franco Arcillo arenoso y F: Franco.

#### Apéndice 4. Curvas de retención de agua

**4.1** Contenido de humedad en la profundidad 1 (0-15 cm) para T1 aguacate monocultivo (Agu\_M); T2a aguacate-guayacán (Agu\_G); T2b guayacán-aguacate (G\_Agu); T3a aguacate-peumo (Agu\_P); T3b peumo-aguacate (P\_Agu); T4a peumo-mayú (P\_Ma) y T4b guayacán-mayú (G\_Ma).



**4.2** Contenido de humedad en la profundidad 3 (30-60 cm) para T1 aguacate monocultivo (Agu\_M); T2a aguacate-guayacán (Agu\_G); T2b guayacán-aguacate (G\_Agu); T3a aguacate-peumo (Agu\_P); T3b peumo-aguacate (P\_Agu); T4a peumo-mayú (P\_Ma) y T4b guayacán-mayú (G\_Ma).



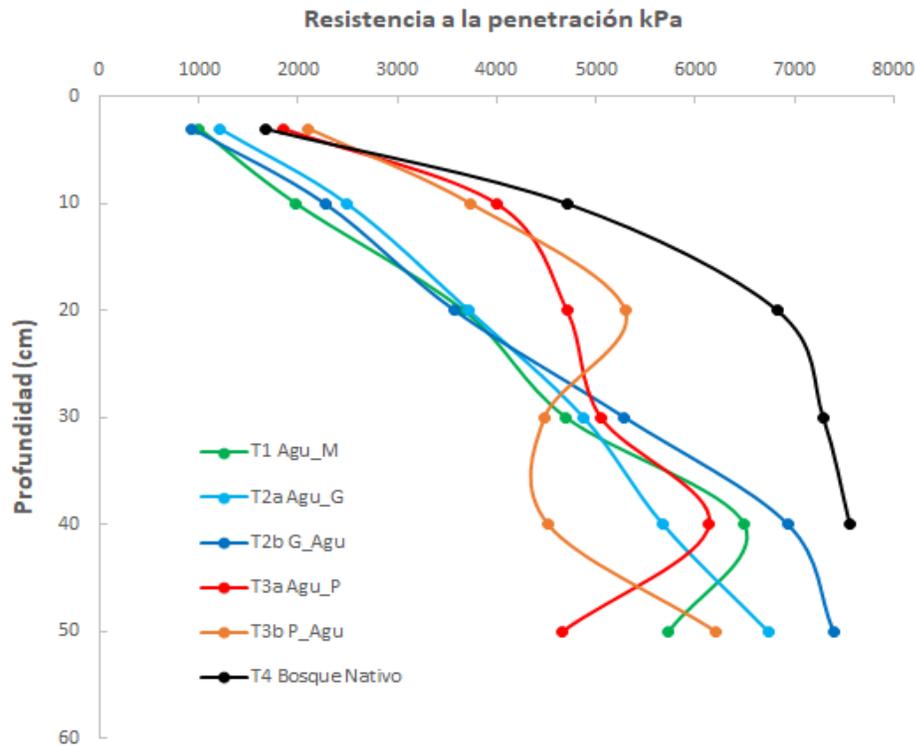
**Apéndice 5.** Valores promedio de conductividad hidráulica no saturada superficial ( $\text{cm h}^{-1}$ ) medida a cuatro presiones de suministro de agua (-1, -2, -4 y -6 hPa) mediante el método del minidisco infiltrómetro (Reynolds, 2006).

Tratamiento	$K_{ns}$ ( $\text{cm h}^{-1}$ )			
	Tensión (hPa)			
	1	2	4	6
T1 Agu_M	6,57	3,43	1,89	1,17
T2a Agu_G	3,33	2,39	1,12	0,54
T2b G_Agu	9,19	4,58	2,67	1,53
T3a Agu_P	5,38	3,79	1,56	0,92
T3b P_Agu	4,49	2,65	1,16	0,67
T4 BNt	3,27	2,20	1,42	1,06

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNt bosque nativo.

**Apéndice 6.** Resistencia a la penetración.

**6.1** Resistencia a la penetración (kPa) de los distintos tratamientos en función de la profundidad cada 10 cm.



**6.2.** Resistencia a la penetración (RP kPa) (promedio  $\pm$  DS) en función de la profundidad para los distintos tratamientos a diferentes profundidades.

Tratamiento	Resistencia a la penetración (kPa) (Promedio $\pm$ DS)					
	Profundidad (cm)					
	0-3	3-10	10-20	20-30	30-40	40-50
T1 Agu_M	1004 $\pm$ 225	1979 $\pm$ 251	3666 $\pm$ 612	4697 $\pm$ 1306	6491 $\pm$ 1262	5732 $\pm$ 2718
T2a Agu_G	1210 $\pm$ 339	2491 $\pm$ 1070	3716 $\pm$ 1008	4873 $\pm$ 1015	5672 $\pm$ 660	6730 $\pm$ 711
T2b G_Agu	930 $\pm$ 511	2269 $\pm$ 961	3575 $\pm$ 1167	5287 $\pm$ 1491	6930 $\pm$ 1465	7388--
T3a Agu_P	1849 $\pm$ 181	3997 $\pm$ 1174	4706 $\pm$ 1105	5047 $\pm$ 1582	6138 $\pm$ 747	4660 $\pm$ 1389
T3b P_Agu	2105 $\pm$ 421	3738 $\pm$ 1350	5292 $\pm$ 1868	4478 $\pm$ 1681	4515 $\pm$ 984	6205 $\pm$ 1428
T4 BNa	1665 $\pm$ 375	4704 $\pm$ 1136	6824 $\pm$ 842	7286 $\pm$ 57	7553--	--

T1 Agu\_M: aguacate monocultivo; T2a Agu\_G: aguacate-guayacán; T2b G\_Agu: guayacán-aguacate; T3a Agu\_P: aguacate-peumo; T3b P\_Agu: peumo-aguacate y T4 BNa: bosque nativo.

**Apéndice 7.** Resultados de macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el periodo de mayo (otoño) y noviembre (primavera) de 2021.

**7.1.** Conteo de macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el mes de mayo de 2021 en superficie (hojarasca), profundidad 1 (0-10 cm) y profundidad 2 (10-20cm).

Nombre especie	Macrofauna mayo											
	Hojarasca				Prof 1, 0-10 cm				Prof 2, 10-20 cm			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<i>Lombriz de tierra</i>	-	-	-	-	11	3	7	-	6	2	9	-
<i>Escarabajos</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hormigas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ciempiés</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Milpiés</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chanchitos de tierra</i>	3	5	1	-	-	-	-	-	1	-	2	-
<i>Tijeretas</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Babosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Araña roja de palto</i>	2	-	3	-	3	-	1	-	2	-	-	-
<i>Araña negra</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Escorpión</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Gusano blanco- chiza</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>1</b>

**7.2.** Conteo de macrofauna en el suelo mediante metodología TSBF para el mes de noviembre de 2021 en superficie (hojarasca), profundidad 1 (0-10 cm) y profundidad 2 (10-20cm).

Nombre especie	Macrofauna noviembre											
	Hojarasca				Prof 1, 0-10 cm				Prof 2, 10-20 cm			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
<i>Lombriz de tierra</i>	3	2	-	-	5	14	5	2	2	4	1	2
<i>Escarabajos</i>	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-
<i>Hormigas</i>	6	25	-	12	3	-	-	7	-	-	-	-
<i>Ciempiés</i>	2	-	-	-	11	1	2	1	3	-	-	1
<i>Milpiés</i>	-	-	2	-	3	2	5	-	-	-	-	-
<i>Chanchitos de tierra</i>	8	29	25	3	6	5	8	3	6	2	1	1
<i>Tijeretas</i>	4	6	-	-	2	1	-	-	-	2	6	-
<i>Babosa</i>	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<i>Araña roja de palto</i>	6	3	2	-	-	-	-	-	3	-	-	-
<i>Araña negra</i>	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-
<i>Escorpión</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gusano blanco- chiza</i>	-	-	-	-	-	1	2	-	-	2	1	-
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>65</b>	<b>29</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>4</b>

**Apéndice 8.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 0-15cm para los 6 tratamientos evaluados.

**Apéndice 9.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 15-30cm para los 6 tratamientos evaluados.

**Apéndice 10.** Matriz de correlaciones para las variables físicas en la profundidad de 30-60cm para los 6 tratamientos evaluados.

**Apéndice 11.** Matriz de correlaciones para las variables químicas en la profundidad de 0-30cm para los 6 tratamientos evaluados.

**Apéndice 12.** Matriz de correlaciones para las variables químicas en la profundidad de 30-60cm para los 6 tratamientos evaluados.

**Apéndice 8.1** Probabilidades de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 0-15cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	% a	% Ar	% L
60	0,0209														
330	0,0550	0,0045													
15000	0,8660	0,6850	0,3303												
Da	0,0292	0,0067	0,0021	0,5333											
Dr	0,3664	0,8625	0,8466	0,1082	0,9052										
PDR	0,2919	0,6441	0,9145	0,1430	0,7384	0,0665									
PDL	0,6235	0,7110	0,7944	0,0549	0,9067	0,2252	0,2503								
PAU	0,0078	0,0521	0,1857	0,4553	0,1004	0,2764	0,1526	0,2368							
RD (%)	0,2254	0,6157	0,7166	0,5628	0,7746	0,0328	0,3513	0,6776	0,3463						
MO	0,2010	0,5013	0,5315	0,8482	0,6361	0,1002	0,5119	0,8844	0,3915	0,0007					
RP kPa	0,1913	0,1926	0,1977	0,9848	0,0591	0,7352	0,6623	0,9494	0,1744	0,7180	0,7334				
% a	0,2209	0,1446	0,0861	0,2875	0,2071	0,9303	0,6399	0,6822	0,5292	0,2963	0,1488	0,9051			
% Ar	0,2397	0,1466	0,0770	0,2340	0,1989	0,9978	0,6099	0,6125	0,5708	0,3369	0,1727	0,8998	<0,0001		
% L	0,2119	0,1445	0,0921	0,3197	0,2127	0,8935	0,6572	0,7217	0,5076	0,2758	0,1373	0,9082	<0,0001	<0,0001	

P-valores menores a 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas.

**Apéndice 8.2** Coeficientes de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 0-15cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	% a	% Ar	% L
0	1,00														
60	0,88	1,00													
330	0,80	0,94	1,00												
15000	-0,09	0,21	0,48	1,00											
Da	-0,86	-0,93	-0,96	-0,32	1,00										
Dr	0,45	0,09	-0,10	-0,72	0,06	1,00									
PDR	0,52	0,24	0,06	-0,67	-0,18	0,78	1,00								
PDL	0,26	0,20	-0,14	-0,80	0,06	0,58	0,56	1,00							
PAU	0,93	0,81	0,62	-0,38	-0,73	0,53	0,66	0,57	1,00						
RD (%)	0,58	0,26	0,19	-0,30	-0,15	0,85	0,47	0,22	0,47	1,00					
MO	-0,61	-0,35	-0,32	0,10	0,25	-0,73	-0,34	-0,08	-0,43	-0,98	1,00				
RP kPa	0,62	0,62	0,61	0,01	-0,79	-0,18	0,23	0,03	0,64	-0,19	0,18	1,00			
% a	-0,59	-0,67	-0,75	-0,52	0,60	-0,05	0,24	0,22	-0,33	-0,51	0,67	-0,06	1,00		
% Ar	0,57	0,67	0,76	0,57	-0,61	1,5E-03	-0,27	-0,26	0,29	0,48	-0,64	0,07	-1,00	1,00	
% L	0,60	0,67	0,74	0,49	-0,60	0,07	-0,23	-0,19	0,34	0,53	-0,68	0,06	-1,00	0,99	1,00

Signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa.

**Apéndice 9.1** Probabilidades de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 15-30cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	%a	%Ar	%L
0															
60	0,8226														
330	0,8700	0,0007													
15000	0,7485	0,8812	0,6401												
Da	0,0009	0,9391	0,9840	0,6021											
Dr	0,0612	0,8871	0,8626	0,3736	0,0138										
PDR	0,3195	0,3164	0,1887	0,4124	0,3647	0,4532									
PDL	0,7662	0,6900	0,9998	0,0768	0,7911	0,9001	0,2838								
PAU	0,7062	0,0452	0,1043	0,3209	0,6992	0,6520	0,6177	0,2643							
RD (%)	0,5019	0,4032	0,3429	0,6646	0,3688	0,1517	0,1320	0,7205	0,2205						
MO	0,6603	0,4048	0,2893	0,7979	0,5142	0,2974	0,1375	0,4099	0,4685	0,0297					
RP kPa	0,2368	0,8107	0,6039	0,5331	0,3426	0,7392	0,5673	0,1596	0,9797	0,3480	0,2049				
% a	0,9523	0,0165	0,0083	0,6395	0,9284	0,9102	0,3199	0,9217	0,1576	0,3229	0,1390	0,4059			
% Ar	0,8390	0,0593	0,0404	0,5888	0,8378	0,8810	0,3181	0,8654	0,2627	0,3429	0,0908	0,5082	0,0021		
% L	0,8070	0,0086	0,0038	0,6926	0,7672	0,7679	0,3475	0,9664	0,1183	0,3344	0,2069	0,3608	0,0005	0,0166	

P-valores menores a 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas.

**Apéndice 9.2** Coeficientes de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 15-30cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	%a	%Ar	%L
0	1,00														
60	-0,12	1,00													
330	-0,09	0,98	1,00												
15000	0,17	0,08	0,24	1,00											
Da	-0,98	0,04	0,01	-0,27	1,00										
Dr	-0,79	-0,08	-0,09	-0,45	0,90	1,00									
PDR	0,49	-0,50	-0,62	-0,42	-0,45	-0,38	1,00								
PDL	-0,16	0,21	-1,5E-04	-0,76	0,14	0,07	0,53	1,00							
PAU	-0,20	0,82	0,72	-0,49	0,20	0,24	-0,26	0,54	1,00						
RD (%)	-0,35	0,42	0,47	-0,23	0,45	0,66	-0,69	-0,19	0,59	1,00					
MO	0,23	-0,42	-0,52	-0,14	-0,34	-0,51	0,68	0,42	-0,37	-0,86	1,00				
RP kPa	-0,57	-0,13	-0,27	-0,32	0,47	0,18	0,30	0,65	-0,01	-0,47	0,60	1,00			
% a	-0,03	-0,89	-0,92	-0,25	0,05	0,06	0,49	0,05	-0,66	-0,49	0,68	0,42	1,00		
% Ar	-0,11	0,79	0,83	0,28	0,11	0,08	-0,50	-0,09	0,55	0,47	-0,74	-0,34	-0,96	1,00	
% L	0,13	0,92	0,95	0,21	-0,16	-0,16	-0,47	-0,02	0,70	0,48	-0,60	-0,46	-0,98	0,89	1,00

Signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa.

**Apéndice 10.1** Probabilidades de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 30-60cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	%a	%Ar	%L
0															
60	0,2309														
330	0,3305	0,0011													
15000	0,0210	0,1160	0,1537												
Da	0,0023	0,2341	0,2807	0,0151											
Dr	0,0044	0,1175	0,1984	0,0572	0,0097										
PDR	0,8786	0,1371	0,0524	0,6463	0,9217	0,9032									
PDL	0,2121	0,2554	0,5041	0,3209	0,4034	0,1505	0,7823								
PAU	0,8181	0,0346	0,0130	0,5924	0,7497	0,5248	0,0157	0,7594							
RD (%)	0,9338	0,1527	0,0710	0,8709	0,8943	0,7173	0,0151	0,8440	0,0053						
MO	0,8608	0,1587	0,1035	0,6189	0,8723	0,9346	0,0347	0,9341	0,0674	0,1775					
RP kPa	0,2060	0,0024	0,0005	0,0741	0,1723	0,1414	0,1013	0,4887	0,0449	0,1473	0,1370				
% a	0,0540	0,0215	0,0228	0,0091	0,0273	0,0409	0,2908	0,4145	0,2110	0,3618	0,4159	0,0069			
% Ar	0,0469	0,0236	0,0304	0,0038	0,0363	0,0536	0,3434	0,3584	0,2522	0,4712	0,3541	0,0074	0,0004		
% L	0,0915	0,0367	0,0301	0,0398	0,0337	0,0451	0,2514	0,5264	0,1871	0,2524	0,5368	0,0188	0,0014	0,0120	

P-valores menores a 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas.

**Apéndice 10.2** Coeficientes de la matriz de correlaciones para las variables físicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 30-60cm.

	0	60	330	15000	Da	Dr	PDR	PDL	PAU	RD (%)	MO	RP kPa	% a	% Ar	% L
0	1,00														
60	0,58	1,00													
330	0,48	0,97	1,00												
15000	0,88	0,71	0,66	1,00											
Da	-0,96	-0,57	-0,53	-0,90	1,00										
Dr	-0,95	-0,71	-0,61	-0,80	0,92	1,00									
PDR	0,08	-0,68	-0,81	-0,24	0,05	0,06	1,00								
PDL	0,60	0,55	0,34	0,49	-0,42	-0,66	0,15	1,00							
PAU	0,12	0,84	0,91	0,28	-0,17	-0,33	-0,90	0,16	1,00						
RD (%)	-0,04	0,66	0,77	0,09	-0,07	-0,19	-0,90	-0,10	0,94	1,00					
MO	0,09	-0,65	-0,72	-0,26	-0,09	-0,04	0,84	-0,04	-0,78	-0,63	1,00				
RP kPa	-0,60	-0,96	-0,98	-0,77	0,64	0,67	0,73	-0,36	-0,82	-0,67	0,68	1,00			
% a	-0,80	-0,88	-0,87	-0,92	0,86	0,83	0,52	-0,41	-0,60	-0,46	0,41	0,93	1,00		
% Ar	0,82	0,87	0,85	0,95	-0,84	-0,80	-0,47	0,46	0,56	0,37	-0,46	-0,93	-0,98	1,00	
% L	0,74	0,84	0,85	0,83	-0,85	-0,82	-0,56	0,33	0,62	0,56	-0,32	-0,89	-0,97	0,91	1,00

Signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa.

**Apéndice 11.1** Probabilidades de la matriz de correlaciones para las variables químicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 0-30cm.

	pH	C.E	N	P	K	Fe	CIC	MOS
pH								
C.E	0,1844							
N	0,0586	0,0111						
P	0,0946	0,1439	0,0314					
K	0,0751	0,0459	0,0058	0,0210				
Fe	0,0314	0,0993	0,0186	0,1382	0,0158			
CIC	0,5054	0,4678	0,8068	0,8644	0,9347	0,5529		
MOS	0,4881	0,6413	0,5266	0,9324	0,3489	0,1316	0,1889	

P-valores menores a 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas.

**Apéndice 11.2** Coeficientes de la matriz de correlaciones para las variables químicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 0-30cm.

	pH	C.E	N	P	K	Fe	CIC	MOS
pH	1,00							
C.E	-0,63	1,00						
N	-0,80	0,91	1,00					
P	-0,74	0,67	0,85	1,00				
K	-0,77	0,82	0,94	0,88	1,00			
Fe	-0,85	0,73	0,89	0,68	0,90	1,00		
CIC	-0,34	-0,37	-0,13	-0,09	0,04	0,31	1,00	
MOS	-0,36	0,24	0,33	0,05	0,47	0,69	0,62	1,00

Signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa.

**Apéndice 12.1** Probabilidades de la matriz de correlaciones para las variables químicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 30-60cm.

	pH	C.E	N	P	K	Fe	CIC	MOS
C.E	0,6022							
N	0,5637	0,0459						
P	0,0468	0,7143	0,2049					
K	0,2102	0,2660	0,0218	0,1136				
Fe	0,1188	0,6012	0,8139	0,3124	0,2965			
CIC	0,0863	0,1684	0,8038	0,6329	0,7347	0,3247		
MOS	0,9323	0,2035	0,1994	0,8482	0,1164	0,8272	0,8663	

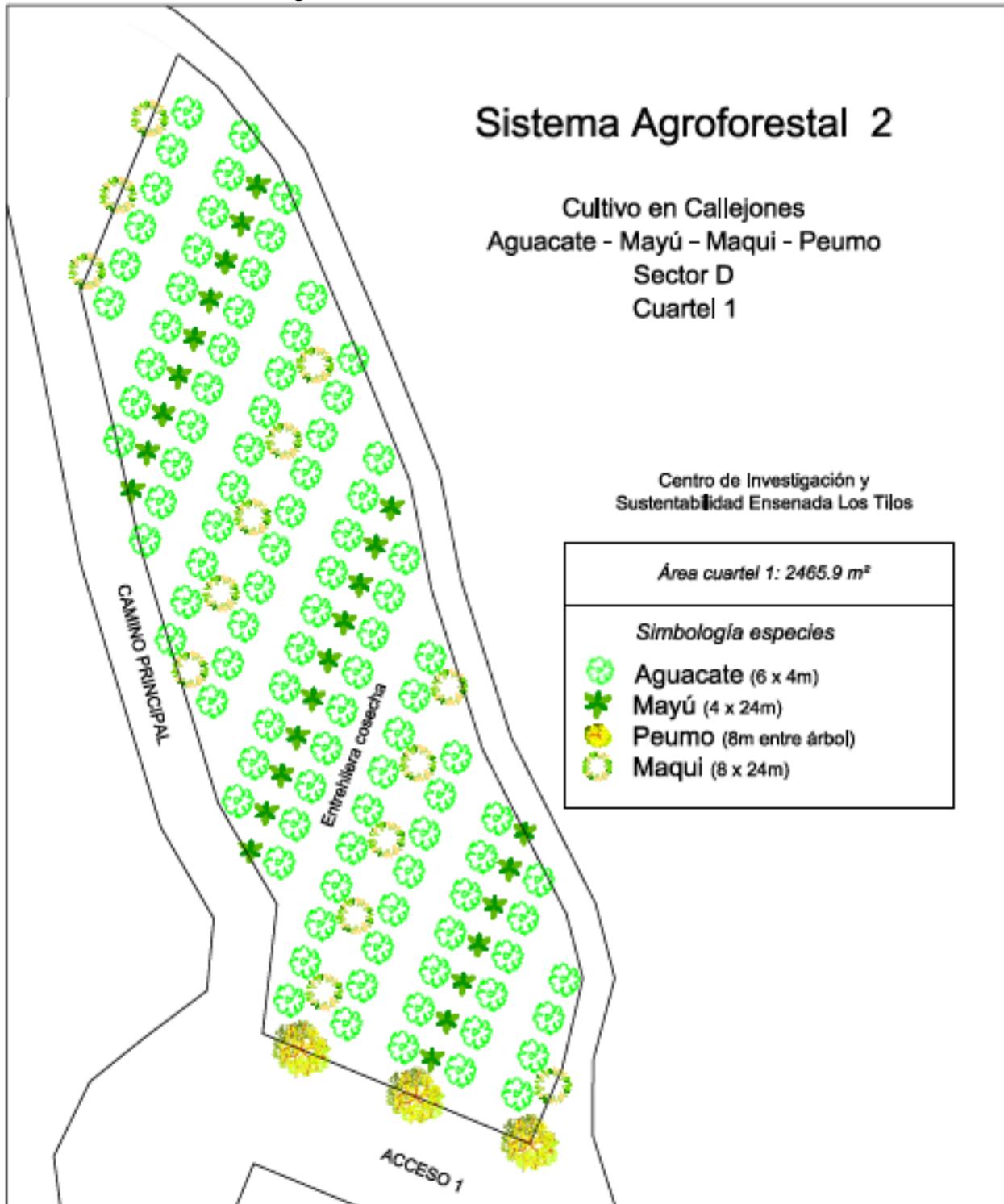
P-valores menores a 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas.

**Apéndice 12.2** Coeficientes de la matriz de correlaciones para las variables químicas de los 6 tratamientos en la profundidad de 30-60cm.

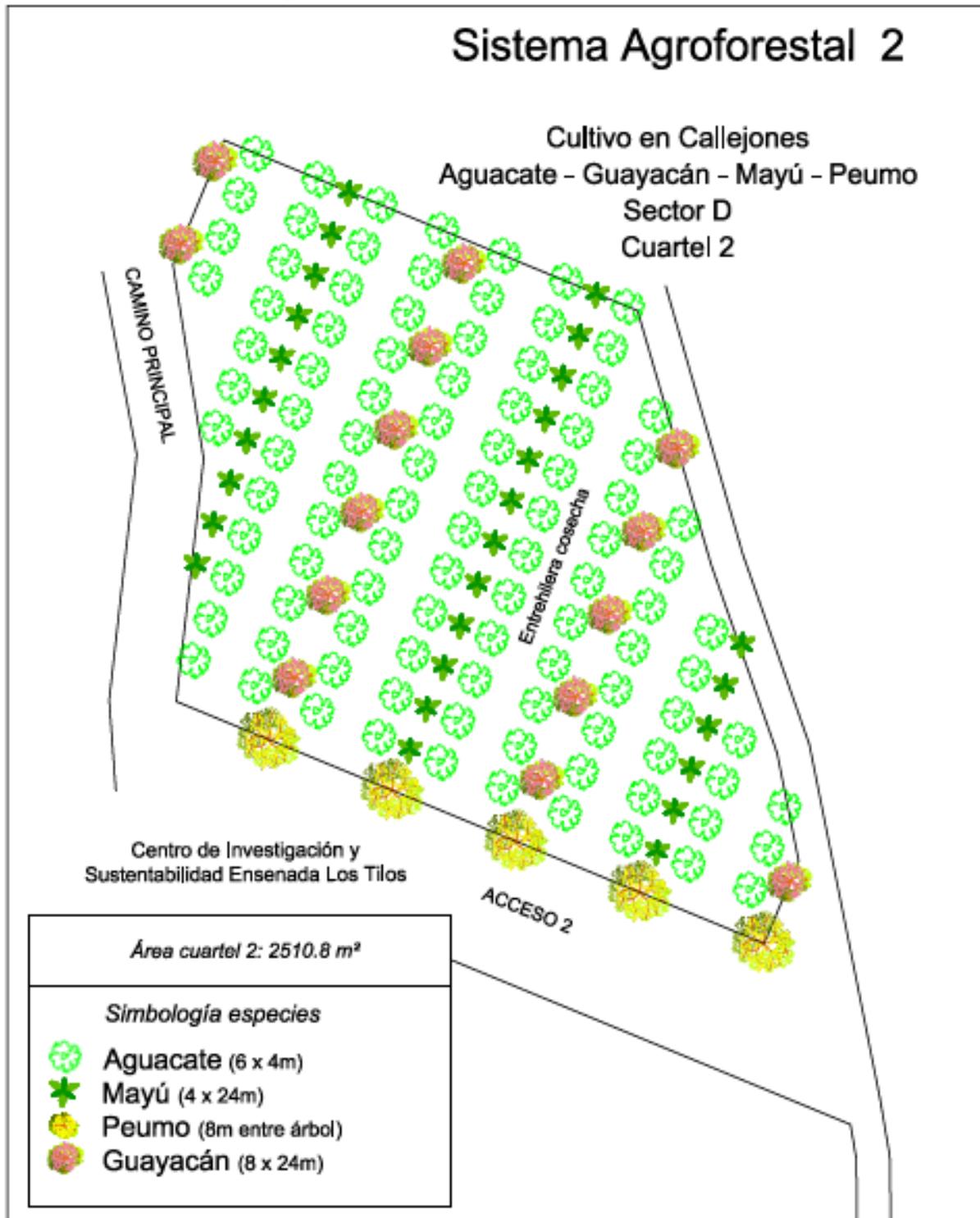
	pH	C.E	N	P	K	Fe	CIC	MOS
pH	1,00							
C.E	0,27	1,00						
N	-0,30	0,82	1,00					
P	-0,82	0,19	0,60	1,00				
K	-0,60	0,54	0,88	0,71	1,00			
Fe	-0,70	-0,27	0,12	0,50	0,51	1,00		
CIC	-0,75	-0,64	-0,13	0,25	0,18	0,49	1,00	
MOS	-0,05	0,60	0,61	0,10	0,71	0,12	-0,09	1,00

Signos positivos indican correlación directa, signos negativos indican correlación inversa.

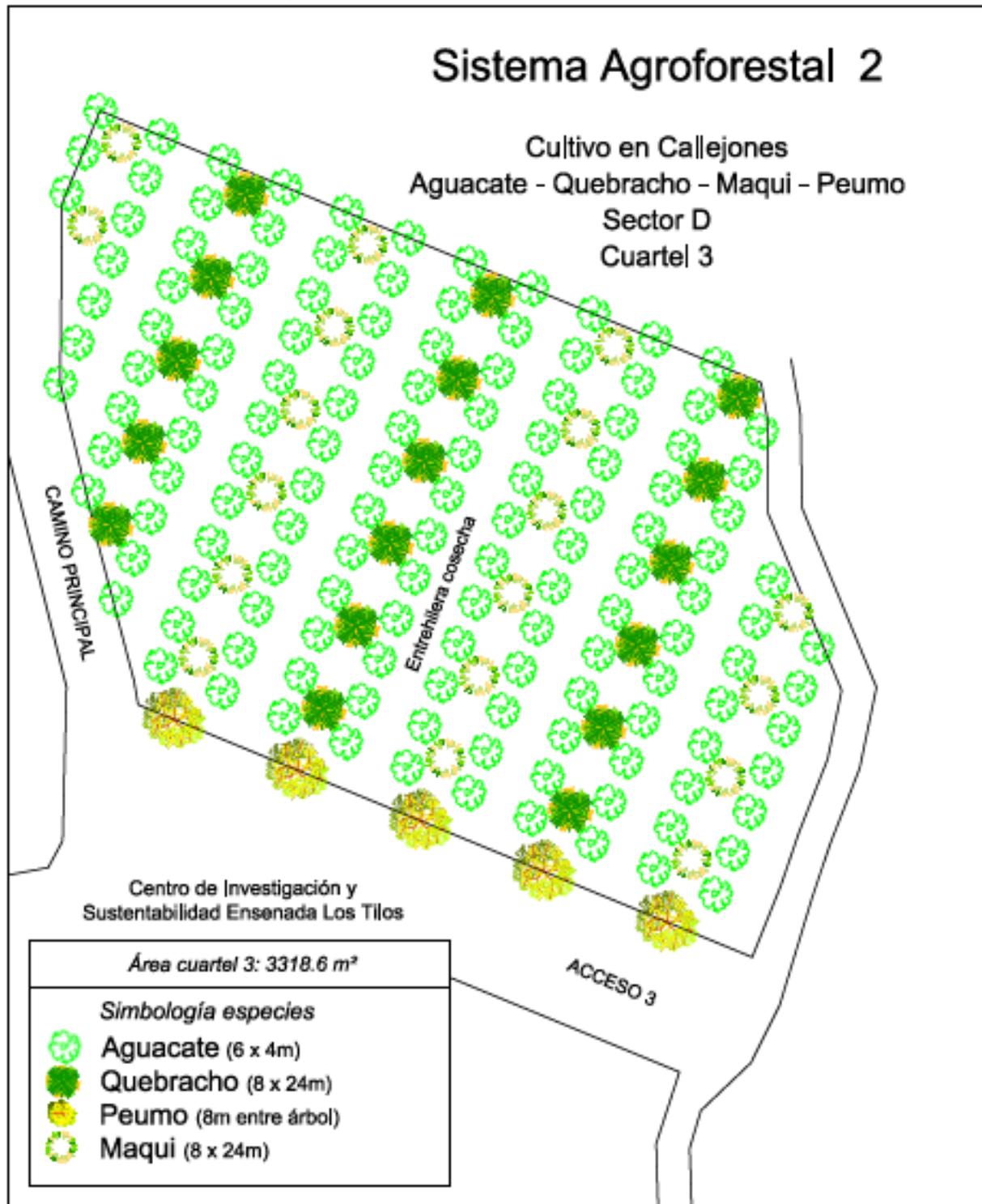
Apéndice 13. Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 1.



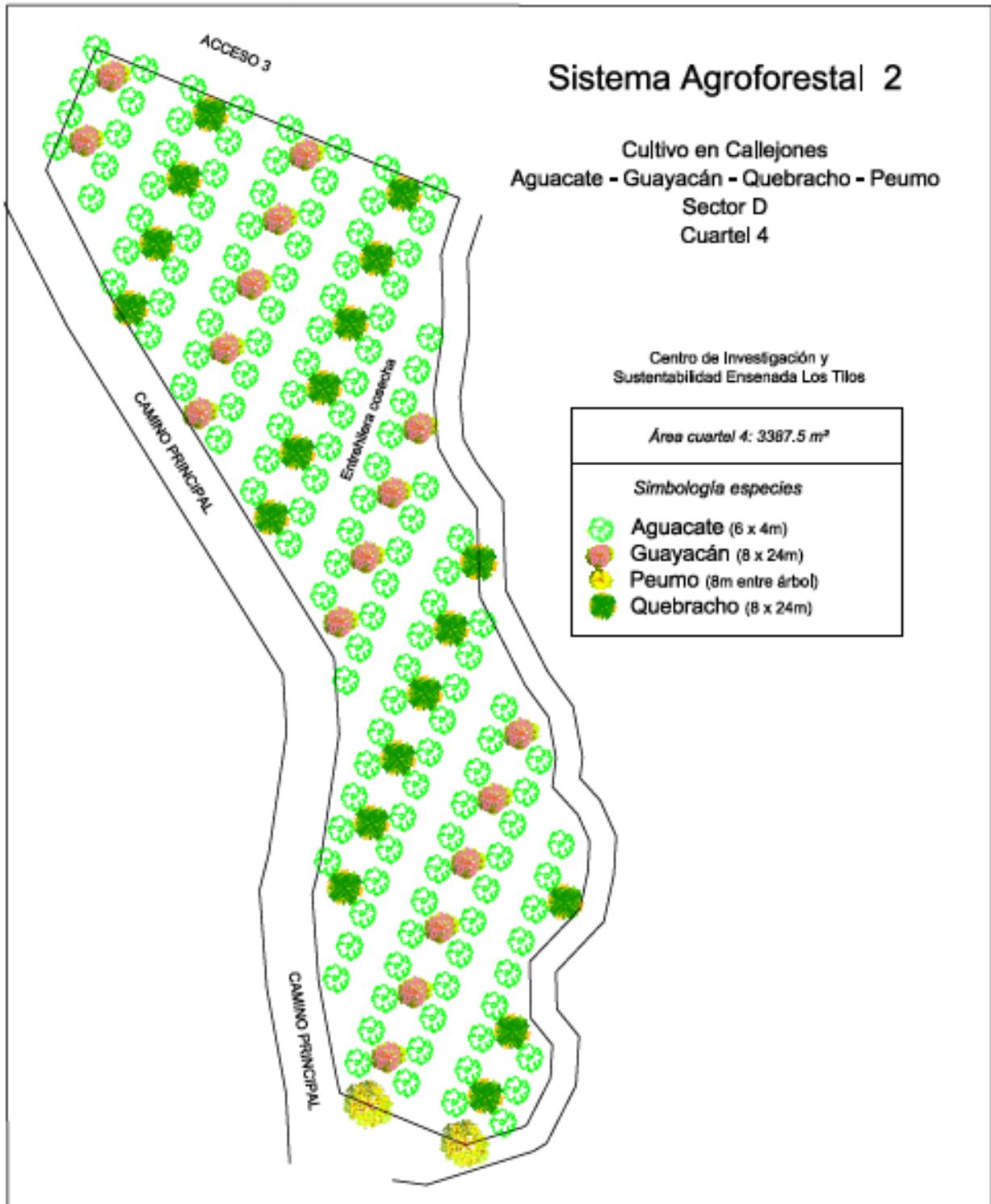
Apéndice 14. Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 2.



Apéndice 15. Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 3.



Apéndice 16. Diseño sistema agroforestal 2, cuartel 4.



## ANEXOS

## Anexo 1. Peumo



**Nombre científico:** *Cryptocarya alba* (Molina) Looser

**Género:** *Cryptocarya*

**Familia:** *Lauraceae*

<b>Origen</b>	Es una especie endémica de Chile. Crece desde la Provincia de Limarí hasta la de Valdivia.
<b>Habitat Específico</b>	Se encuentra principalmente en quebradas y lugares húmedos de los bosques esclerófilos de la zona central. Bajo los 1.500 msnm.
<b>Asociaciones vegetativas</b>	<p><u>Comunidad <i>Cryptocarya alba-Luma chequen</i></u>: Es propia de los cauces de las quebradas bajo la exposición sur, en especial cuando existe un flujo de agua en forma permanente.</p> <p><u>Comunidad <i>Cryptocarya alba-Schinus latifolius</i></u>: Comunidad boscosa que se encuentra repartida en quebradas húmedas y laderas sombrías, alcanzando, en ciertos casos, un gran desarrollo en sus doseles superiores.</p> <p><u>Comunidad <i>Cryptocarya alba-Quillaja saponaria</i></u>: Es frecuente en el ambiente del bosque esclerófilo de la precordillera andina, ocupando valles y laderas de exposición sur, variable en cuanto a la densidad de su dosel, pero a menudo presenta baja cobertura.</p> <p><u>Comunidad <i>Cryptocarya alba-Lithrea caustica</i></u>: Generalmente se presenta con una fisonomía subarbórea en laderas protegidas, pero en las quebradas y lugares más húmedos, se presenta como bosque denso, aunque de reducida extensión. <i>Cryptocarya alba</i> se mezcla también con <i>Peumus boldus</i> (Boldo) y frecuentemente forma bosques en galería, en la parte andina de la Región Metropolitana (Rodríguez <i>et al.</i>, 1983).</p>
<b>Estado vulnerabilidad</b>	Especie endémica de Chile, se distribuye desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Los Ríos, en ambas cordilleras y el valle central.

<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> 15 m. <b>Ancho de Copa:</b> 12 m. <b>Ancho Tronco:</b> Hasta 1m de diámetro
<b>Características ecológicas</b>	Esta especie es tolerante a la sombra, con tasas fotosintéticas muy ligadas a la disponibilidad de agua en el suelo, disminuyendo fuertemente su crecimiento en la estación seca. En casos excepcionales, se le puede encontrar bajo una fuerte insolación, pero siempre bajo cierta humedad.  Esta especie se desarrolla bien en suelos medianamente húmedos con algo de materia orgánica. Se presenta en suelos francos a pedregosos – arcilloso, bajo un pH neutro a ácido (Riedemann <i>et al.</i> , 2001) y prefiriendo terrenos sueltos y profundos, resistiendo muy bien las heladas.
<b>Roles ecológicos</b>	Melífero y cortavientos.
<b>Usos</b>	Es una especie muy recomendable para ser incorporada en espacios públicos y jardines urbanos. La madera se utiliza principalmente como leña y carbón vegetal por su alto poder calorífico. Además, la madera se usaba en la confección de hormas y tacos para calzados, como también en artesanía popular, en la fabricación de herramientas y piezas de carretas. Muy adecuado para la confección de parquets con un agradable olor particular.

## Anexo 2. Guayacán



**Nombre científico:** *Porlieria chilensis*

**Género:** *Porlieria*

**Familia:** *Zygophyllaceae*

<b>Origen</b>	Especie endémica, crece desde la IV Región, provincia de Limarí (Punta Choros), hasta la VI Región, provincia de Colchagua (cuesta Corcolén), en una extensión de 8.014 ha (Serra <i>et al.</i> , 1986; Hechenleitner <i>et al.</i> , 2005; Muñoz & Serra 2006).
<b>Hábitat Específico</b>	Faldeos cordilleranos y en pendientes rocosas de cerros. Matorral esclerófilo y matorral costero. Desde el nivel del mar hasta los 1300 msnm (Hechenleitner <i>et al.</i> , 2005)

<b>Asociaciones vegetativas</b>	<p>Se asocia con especies del matorral espinoso de las serranías transversales, como <i>Prosopis chilensis-Schinus polygama</i> y <i>Acacia caven</i>, o con componentes del bosque esclerófilo como <i>Quillaja saponaria-Lithrea caustica</i> (Serra <i>et al.</i>, 1986). Es especialmente representativa en la vegetación de <i>Prosopis chilensis-Schinus polygama</i>, donde también se asocia con otros arbustos xerofíticos como <i>Gutierrezia resinosa</i>, <i>Proustia cuneifolia</i> y <i>P. ilicifolia</i>, y con los cactus <i>Echinopsis coquimbana</i> y <i>Maihueniopsis ovata</i>.</p> <p>En otras localidades se asocia con <i>Acacia caven</i>, <i>Bridgesia incisifolia</i>, <i>Carica chilensis</i>, <i>Cordia decandra</i>, <i>Kageneckia oblonga</i> y <i>Lithrea caustica</i> (Hechenleitner <i>et al.</i>, 2005).</p> <p>Además de las arbustivas <i>Flourensia thurifera</i> (inciense o maravilla del campo), <i>Cordia decandra</i> (carbonillo), <i>Gutierrezia resinosa</i> (pichanilla), <i>Bridgesia incisaefolia</i> (rumpiato) y algunas cactáceas.</p>
<b>Estado vulnerabilidad</b>	<p>El año 2008 se la declaró oficialmente “especie vulnerable” (RCE3 DS 51/2008 MINSEGPRES). Especie muy amenazada por la tala indiscriminada y el sobrepastoreo de cabras, además de la disminución consistente de las precipitaciones.</p>
<b>Arquitectura de la especie</b>	<p><b>Altura:</b> 3 a 5 m.</p> <p><b>Volumen de la rizósfera:</b> Se han llegado a identificar extensiones de hasta 100 m cuadrados de ejemplares unidos entre sí por las raíces.</p> <p><b>Copa:</b> 4 m</p>
<b>Características ecológicas</b>	<p>Su condición común es la exposición hacia laderas soleadas con una máxima insolación, crece en suelos en situaciones de buen drenaje (Serra <i>et al.</i>, 1986). Puede sobrevivir con limitantes hídricas importantes, baja precipitación y periódicamente irregulares. Sin embargo, esto afecta la altura, ancho de copa y capacidad de rebrote, ya que el equilibrio hídrico interno de la planta controla los procesos fisiológicos y las condiciones que determinan la cantidad y calidad del crecimiento de las plantas.</p> <p>El guayacán presenta una alta capacidad de regeneración vegetativa como mecanismo de adaptación a las condiciones de sequía y a las perturbaciones ocasionadas por el hombre y el ganado (Muñoz &amp; Serra 2006).</p>
<b>Roles ecológicos</b>	<p>Esta especie realiza levantamiento hidráulico, llevando humedad desde capas de suelo más profundas hacia las más superficiales, incrementando además el potencial hídrico de la rizósfera y la disponibilidad de nutrientes (Loayza <i>et al.</i>, 2015).</p> <p>Melífero, atrae abejas y polinizadores. Además, ayuda a mejorar la condición del suelo.</p>
<b>Usos</b>	<p>Su madera es muy dura y de hermosa, veta amarilla en la periferia y negro-verdosa en el centro, por lo que se le utiliza para tallar</p>

	<p>instrumentos decorativos, en artesanía, en la fabricación de ceniceros, cucharas, peinetas, objetos de arte, etc.</p> <p>En medicina popular se la emplea para dolores reumáticos y de gota; también por su acción emenagoga, estimulante, diaforética y balsámica. Químicamente es rica en resinas, antiguamente se la utilizaba incluso para hacer piezas de máquinas, dada su extrema resistencia (Rollo <i>et al.</i>, 2007).</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Anexo 3. Mayú



**Nombre científico:** *Sophora macrocarpa*

**Género:** *Sophora*

**Familia:** *Fabaceae*

<b>Origen</b>	Es endémico de Chile, donde crece desde la provincia de Choapa hasta la de Malleco, entre 0 y 1.700 msnm, especialmente en los faldeos precordilleranos.
<b>Habitat Específico</b>	En su distribución norte se le encuentra en fondos de quebradas y cercanía de cursos de agua permanentes o temporales.
<b>Estado vulnerabilidad</b>	En Peligro
<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> 3 m <b>Ancho de copa:</b> 2,5 m
<b>Características ecológicas</b>	Se desarrolla preferentemente en lugares abiertos y asoleados y también en algunas partes húmedas, siempre que crezca en un sitio donde la tierra o el sustrato absorban y drene muy bien el agua. Resiste hasta los -6° C. Una característica de <i>S. macrocarpa</i> , es la presencia de renuevos basales, desde muy pequeño.
<b>Roles ecológicos</b>	Cerco vivo, es una especie que tiene simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno por lo que podría fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, mejorando la fertilidad del bosque, tiene alto valor ornamental y atrae picaflores.
<b>Usos</b>	El fruto tiene un importante porcentaje de aceite (20% del peso de las semillas), proteínas (20% del peso de las semillas) y alcaloides (3,4% del peso de las semillas). El aceite es comestible y su composición de

	<p>ácidos grasos es similar al aceite de raps, mientras que su índice de poli-insaturación supera a este y al de oliva.</p> <p>El alto contenido de proteínas sugiere que se puede aprovechar el residuo de los frutos después de extraerles el aceite, en alimentación animal. Entre sus alcaloides se encuentra <i>matrina</i>, <i>baptifolina</i> y <i>metilcitosina</i>, que son de utilidad para producir insecticidas biodegradables. Sus semillas tienen propiedades anti-inflamatorias y espasmolíticas, también se ocupa para recuperar suelos degradados (Espejo <i>et al.</i>, 2016).</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Anexo 4. Quillay



**Nombre científico:** *Quillaja saponaria*

**Género:** *Quillaja*

**Familia:** *Quillajaceae*

<b>Origen</b>	Endémico de Chile, se puede encontrar desde la región de Coquimbo hasta la región de la Araucanía, entre los 800 y los 1.000 m de altura. Es uno de los principales componentes del bosque esclerófilo de la zona central.
<b>Habitat Específico</b>	En el valle central crece en lugares soleados y en los faldeos de cerro relativamente secos y con escasa vegetación, en la precordillera y en su límite altitudinal forma parte del bosque mixto como especie secundaria (Donoso <i>et al.</i> , 2011).
<b>Estado vulnerabilidad</b>	El estado de conservación del quillay corresponde a la categoría de más bajo riesgo.
<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> 15 m. <b>Copa:</b> 13 m.
<b>Características ecológicas</b>	En su extensa distribución se le encuentra en climas secos y cálidos y también en otros más frescos y húmedos, con precipitación media anual de 200 a 1.500mm, pudiendo soportar nieve y heladas.
<b>Roles ecológicos</b>	Melífero, cortavientos.
<b>Usos</b>	Esta especie arbórea posee gran valor económico y utilidad debido a la diversidad de productos que puede generar y las aplicaciones en que se puede utilizar, entre ellos; uso en medicina popular, apicultura, producción de tierra de hoja, arborización urbana, cortinas cortaviento,

	artesanías, carbón y leña. No obstante, el producto más importante a nivel comercial es la saponina, la que compone el 4% del peso de su corteza (Donoso <i>et al.</i> , 2011).
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Anexo 5. Quebracho



**Nombre científico:** *Senna candolleana*

**Género:** *Senna*

**Familia:** *Fabaceae*

<b>Origen</b>	Especie endémica de Chile. Se encuentra desde la región de Coquimbo hasta la región Metropolitana en valles interiores hasta los 700 m de altitud.
<b>Hábitat Específico</b>	Elevación baja, valles del interior, partes planas o laderas de exposición norte.
<b>Asociaciones vegetativas</b>	Se asocia con <i>Retanilla trinervia</i> y <i>Colliguaja odorifera</i> formando un estrato arbustivo abierto. Aparece, aunque con muy baja presencia, dentro de la asociación <i>Cestro-Trevoetum</i> (espinal).
<b>Estado vulnerabilidad</b>	Fuera de Peligro
<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> 5 m <b>Ancho de Copa:</b> 5 m
<b>Características ecológicas</b>	Es una especie muy resistente a la sequía, que se desarrolla tanto en terrenos planos como en laderas asoleadas. En cultivo, crece con rapidez, tolera podas y es poco afecta a plagas y enfermedades. Crece expuesto a pleno sol sin ninguna protección. Se considera una especie intolerante a la sombra. A su vez, es posible plantar a pleno sol o semi-sombra.
<b>Roles ecológicos</b>	Cerco vivo, fijador de nitrógeno
<b>Usos</b>	Planta de buen valor ornamental. Su madera es utilizada para la obtención de postes y hojas de forraje para el ganado caprino. Su flor es utilizada en medicina popular.

## Anexo 6. Chequén



**Nombre científico:** *Luma chequen*

**Género:** *Luma*

**Familia:** *Myrtaceae*

<b>Origen</b>	Endémica de Chile, se encuentra desde las comunas de Coquimbo hasta la comuna de Llanquihue
<b>Hábitat Específico</b>	Lechos de arroyos, pantanos, orillas de lagos, laderas pronunciadas de exposición sur, quebradas hondas.
<b>Asociaciones vegetativas</b>	Asociado a <i>Juncus</i> , <i>Drimys winteri</i> (canelo), y <i>Persea lingue</i> .
<b>Estado vulnerabilidad</b>	Fuera de Peligro
<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> Hasta 9 m
<b>Características ecológicas</b>	Muy escaso como árbol por su lento crecimiento, generalmente arbusto, crece a la sombra o bien brinda protección por su capa densa de vegetación, debajo de grandes árboles, crece en áreas húmedas, períodos secos cortos son posibles, pero no duran más de 1 mes.  Crece desde los 2500 a los 4000 m de altitud en los Andes central de Perú. Bolivia y Chile.
<b>Roles ecológicos</b>	Produce frutos comestibles que maduran principalmente de febrero a abril.
<b>Usos</b>	Alto valor ornamental. Medicinal, resaltando su acción atidiarreica, antiinflamatoria, antiséptica, antimicótica, astringente y expectorante. Se reporta el uso de su follaje como aromatizante y saborizante en la cocina (Torres- Chatí <i>et al.</i> , 2017).

## Anexo 7. Maqui



**Nombre científico:** *Aristotelia chilensis*

**Género:** *Aristotelia*

**Familia:** *Elaeocarpaceae*

<b>Origen</b>	El maqui es una especie endémica y única en su género, con amplia distribución en la zona central y sur de Chile y Argentina. En Chile crece entre Coquimbo y Aysén.
<b>Habitat Específico</b>	En el norte de su distribución, en la zona del clima mediterráneo, se asocia principalmente a lugares húmedos como quebradas, laderas sombrías, zonas expuestas a niebla y riberas de ríos y lagunas. Suele ser más común en la Cordillera de la Costa, donde la influencia costera permite el desarrollo de especies con mayores requerimientos de humedad.
<b>Asociaciones vegetativas</b>	En la zona centro norte se puede encontrar con especies como <i>Citronella mucronata</i> , <i>Quillaja saponaria</i> , <i>Lomatia hirsuta</i> , <i>Peumus boldus</i> , <i>Gomortega keule</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Nothofagus obliqua</i> , <i>Schinus latifolius</i> , <i>Nothofagus leonii</i> , <i>Nothofagus obliqua</i> var. <i>Macrocarpa</i> , <i>Beilchmiedia berteriana</i> , <i>Dasyphyllum excelsum</i> , <i>Crinodendron patagua</i> , <i>Drimis winteri</i> , <i>Luma chequen</i> , <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Austrocedrus chilensis</i> .
<b>Estado vulnerabilidad</b>	Fuera de Peligro
<b>Arquitectura de la especie</b>	<b>Altura:</b> 4 m <b>Ancho de Copa:</b> 4 m
<b>Características ecológicas</b>	Prefiere suelo con abundante materia orgánica y humedad. En la cordillera de la costa se desarrolla sobre suelos graníticos sin grandes restricciones de humedad y profundidad, desde los 300 hasta los 1.100 msnm.
<b>Roles ecológicos</b>	Melífero y frutos comestibles.
<b>Usos</b>	Con sus hojas se curan cicatrices, se apacigua la fiebre y se calman enfermedades de garganta y riñones. Su madera sirve para fabricar muebles e instrumentos musicales. Con sus frutos se hacen confituras, chicha y helados, además de mermelada. Actualmente, el maqui sigue usándose en rituales del pueblo mapuche para adornar el rewe (altar) e impartir bendiciones. Sus frutos traen muchos beneficios para la salud, especialmente por su alto contenido de vitamina C, usándose como jugo fresco con agua y azúcar (Alonso, 2012).

## Anexo 9. Ficha técnica herbáceas.

Nombre	Familia	Rol	Fotografía
<i>Lotus corniculatus</i>	Fabaceae	Fijadora de nitrógeno	
<i>Medicago polymorpha</i>	Fabaceae	Fijadora de nitrógeno	
<i>Erigeron luxurians</i>	Asteraceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Flourensia thurifera</i>	Asteraceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Haploapappus macrocephalus</i>	Asteraceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Encelia canescens</i>	Asteraceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Eupatorium salvium</i>	Asteraceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Spharealcea obtusiloba</i>	Malvaceae	Atractor polinizadores nativos	

<i>Solenomelus pedunculatus</i>	Iridaceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Alonsoa meridionalis</i>	Scrophulariaceae	Atractor polinizadores nativos	
<i>Blechnum chilense</i>	Blechnaceae	Acumulador dinámico	
<i>Chamomilla suaveolens</i> (Pursh) Rydb	Asteraceae	Acumulador dinámico K, CA, P	

Hechenleitner *et al.*, 2005.

Siebold, 2002.

Las especies *Solenomelus pedunculatus*, se asocia con Quillay y Maién; *Blechnum chilense*, se encuentra en sectores de quebradas y *Chamomilla suaveolens* (Pursh) Rydb, es introducida y naturalizada, estas especies se encuentran en ensenada los Tilos.