



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN**  
**DE LA NATURALEZA**

---

**PROPUESTAS DE MANEJO SILVICULTURAL Y OBRAS DE**  
**CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA PARA MINIMIZAR LA**  
**AFECTACIÓN DEL BOSQUE PRODUCTO DE LA SEQUÍA EN LA**  
**RESERVA NATURAL ALTOS DE CANTILLANA, REGIÓN**  
**METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**DARINKA BELEN HERNÁNDEZ SALAZAR**

Profesor Guía: Dr. Eduardo Martínez Herrera. Ingeniero Forestal

Colaboradora: Fernanda Romero Gárate

---

**Santiago, Chile**

**2022**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y**  
**DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA**  
**NATURALEZA**

---

**PROPUESTAS DE MANEJO SILVICULTURAL Y OBRAS DE**  
**CONSERVACIÓN DE SUELO Y AGUA PARA MINIMIZAR LA**  
**AFECTACIÓN DEL BOSQUE PRODUCTO DE LA SEQUÍA EN LA**  
**RESERVA NATURAL ALTOS DE CANTILLANA, REGIÓN**  
**METROPOLITANA**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniera Forestal

**DARINKA BELEN HERNÁNDEZ SALAZAR**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Eduardo Martínez Herrera	.....	.....
Prof. Consejero Sr. Nicolás García Berguecio	.....	.....
Prof. Consejero Sr. Carlos Magni Díaz	.....	.....

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me han aportado en el desarrollo de mis estudios y mi desarrollo personal a lo largo de estos años. A mi madre quien siempre me ha ayudado, motivado y me ha enseñado que con perseverancia se logran las metas. A mis hermanos Joaquin, Texia, Marco por todo su amor y ternura que me entregan día a día, quienes siempre me sacan una risa, dan su apoyo y confianza.

A mis amigas de la vida y las que conocí recorriendo este camino, las que me abrieron su corazón y permitieron tenerlas en mi vida, gracias por enseñarme cada día. Por demostrarme su cariño y apoyo incondicional.

A mi profesor guía Eduardo Martínez, por confiar en mí, entregarme sus conocimientos, por su paciencia y contribución, además de darme la oportunidad de desarrollar esta memoria de título. Igualmente, a mis profesores consejeros Nicolás García y Carlos Magni, por su disponibilidad y consejos.

Agradezco a la Reserva Altos de Cantillana, Fernanda y Coral, quienes me recibieron y prestaron sus dependencias para darle un espacio físico a la memoria, que forma parte del proyecto “Consideraciones genéticas y silvícolas para la restauración de bosques hidrófilos de quebrada en la Región Metropolitana”, desarrollado por el Centro Productor de Semillas y Árboles (CESAF) de la Universidad de Chile y el profesor Carlos Magni.

Finalmente quiero agradecerme, por creer en mí, por dar el máximo aun cuando no quería, por no darme por vencida.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Pardeamiento	2
1.2 Disponibilidad de agua en el suelo	2
1.3 Infiltración del agua en el suelo	3
1.4 Silvicultura para la conservación	3
<b>2. MATERIALES Y MÉTODO</b>	5
2.1 Material	5
2.1.1 Reserva Natural Altos de Cantillana	5
2.1.2 Antecedentes vegetacionales de la Reserva Natural Altos de Cantillana	5
2.1.3 Área de estudio	5
2.1.4 Antecedentes climáticos	6
2.1.5. Instrumentos	8
2.2 Método	8
2.2.1 Definición de la formación boscosa a medir.	9
2.2.2 Caracterización de la formación boscosa	9
Inventario Dasométrico	9
Estado sanitario	10
Listado de la flora leñosa	11
Descripción del suelo	11
Infiltración de agua en el suelo	12
Análisis de los datos	14
2.2.3 Propuesta de tratamientos silviculturales y obras de conservación de suelo y agua	14
Tratamientos de reducción de biomasa	14
Tratamientos de conservación de suelo y agua	15
2.2.4 Propuesta de indicadores para el seguimiento y monitoreo de los resultados respecto al bosque que no fue intervenido	15
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	16
3.1 Selección del área de trabajo	16
3.2 Caracterización de la formación boscosa	16
3.2.1 Listado de la flora leñosa	17
3.2.2 Cantidad de individuos leñosos	18
3.2.3 Estado Sanitario	20
Estado sanitario según exposición	20
Estado sanitario de las cepas de cada especie según su exposición	20
3.2.3 Volumen y Área Basal	22
Volumen y área basal según exposición	22
Volumen y área basal por hectárea	23

3.3 Caracterización del suelo	25
3.3.1 Caracterización de laderas analizadas	25
3.3.2 Infiltración del agua en el suelo	26
3.4 Propuestas de manejo silvicultural y de conservación de suelo y agua	27
3.4.1 Silvicultura	27
3.4.2 Conservación de suelo y agua	30
3.5 Monitoreo	34
3.5.1 Monitoreo de la efectividad del tratamiento silvicultural	34
Respuesta de los tratamientos sobre la flora	34
Respuesta de los tratamientos sobre el crecimiento y condición sanitaria de la vegetación	34
3.5.2 Monitoreo de la efectividad de las obras de conservación de suelo y agua	35
Respuesta del suelo	35
3.5.3 Retroalimentación y correcciones	36
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>37</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>38</b>
<b>6. ANEXO</b>	<b>48</b>
<b>7. APÉNDICE</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Fórmulas de volumen utilizadas para las especies arbóreas leñosas (Drake, et al.2003). .....	9
<b>Cuadro 2:</b> Intervalos a utilizar para determinar la marca de clase. ....	10
<b>Cuadro 3:</b> Clasificación y descripción del estado sanitario para los individuos arbóreos. ....	10
<b>Cuadro 4:</b> Clasificación y descripción de la pedregosidad superficial del suelo. ....	11
<b>Cuadro 5:</b> Parámetros de Van Genuchten para las 12 clases texturales del suelo y valores de A, según tensión de suministro (Carsel y Parrish, 1988). ....	13
<b>Cuadro 6:</b> Listado de las especies leñosas encontradas en las parcelas de exposición norte y sur, en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana. ....	17
<b>Cuadro 7:</b> Cantidad de individuos monofustales de la zona de estudio desplegada en la exposición sur y norte .....	18
<b>Cuadro 8:</b> Cantidad de individuos multifustal de la zona de estudio desplegada en la exposición sur y norte. ....	19
<b>Cuadro 9:</b> Volumen por especie presente en las parcelas de exposición sur. ....	22
<b>Cuadro 10:</b> Área basal por especie presente en las parcelas de exposición sur. ....	22
<b>Cuadro 11:</b> Volumen por especie presente en las parcelas de exposición norte. ....	23
<b>Cuadro 12:</b> Área basal por especie presente en las parcelas de exposición norte. ....	23
<b>Cuadro 13:</b> Promedios de los datos obtenidos de los tres puntos de muestreo en cada parcela según su exposición .....	25
<b>Cuadro 14:</b> Parámetros de Van Genuchten para la clase textural determinada en la Reserva Altos de Cantillana y los valores según tensión de suministro (Carsel y Parrish, 1988). ....	26
<b>Cuadro 15:</b> Conductividad hidráulica saturada (Ksat) en las seis parcelas, con sus respectivas repeticiones y promedio entre estas. ....	26
<b>Cuadro 16:</b> Fases fenológicas para ejemplares en estado vegetativo .....	48
<b>Cuadro 17:</b> Fases fenológicas para ejemplares en estados reproductivos .....	48
<b>Cuadro 18:</b> Escala de abundancia de Braun-Blanquet (1979). ....	49
<b>Cuadro 19:</b> Clasificación de la forma de vida herbácea. ....	49
<b>Cuadro 20:</b> Clasificación del origen de herbáceas .....	49
<b>Cuadro 21:</b> Formulario para realizar el listado florístico de las especies no herbáceas. ....	50
<b>Cuadro 22:</b> Formulario para realizar listado florístico de las especies herbáceas. ....	50
<b>Cuadro 23:</b> Inventario dasométrico y fitosociológico. ....	51
<b>Cuadro 24:</b> Formulario de reclutamiento .....	51
<b>Cuadro 25:</b> Formulario caracterización suelo. ....	52
<b>Cuadro 26:</b> Promedio por parcela de las tres subunidades realizadas en la exposición sur. ...	53
<b>Cuadro 27:</b> Promedio por parcela de las tres subunidades realizadas en la exposición norte. ....	53
<b>Cuadro 28:</b> Resultados de la prueba de Fisher sobre la cantidad de vástagos según exposición. ....	54
<b>Cuadro 29:</b> Resultados de la prueba de Fisher sobre el área basal según exposición. ....	54
<b>Cuadro 30:</b> Resultados de la prueba de Fisher sobre el volumen según exposición. ....	54
<b>Cuadro 31:</b> Resultados de la prueba de Fisher sobre el estado sanitario según exposición. ...	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica de la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana, Región Metropolitana y de los hitos importantes de reconocer. ....	6
<b>Figura 2:</b> Precipitación (mm/año) desde 1980 hasta 2020. ....	7
<b>Figura 3:</b> Temperatura anual (°C) de máximas, media y mínima desde al año 1980 a 2020...8	
<b>Figura 4:</b> Modelo de minidisco-infiltrómetro Decagon Device modelo S. Utilizado para las mediciones en condiciones no saturadas del flujo de agua. ....	12
<b>Figura 5:</b> Ubicación geográfica de las seis parcelas de muestreo realizadas en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana. Los hitos importantes de reconocer, las parcelas 1, 3 y 5 corresponden a exposiciones norte, mientras que las parcelas 2, 4 y 6 a exposiciones sur. ....	16
<b>Figura 6:</b> Promedio del estado sanitario de los vástagos presentes en cada exposición. No defoliado = 0. Ligeramente defoliado = 1. Moderadamente defoliado= 2. Gravemente defoliado = 3. Seco =4. Datos colectados en septiembre del 2021.....	20
<b>Figura 7:</b> Cantidad de cepas de cada especie y el promedio del estado sanitario por especie y exposición. No defoliado = 0. Ligeramente defoliado = 1. Moderadamente defoliado= 2. Gravemente defoliado = 3. Seco =4. Datos colectados en septiembre 2021 .....	21
<b>Figura 8:</b> Área basal por hectárea en ambas exposiciones. ....	24
<b>Figura 9:</b> Volumen por hectárea de ambas exposiciones. ....	25
<b>Figura 10:</b> Cuadrantes para muestreo de herbáceas de 1m <sup>2</sup> (ancho y largo) con las 36 subdivisiones mencionadas. ....	29
<b>Figura 11:</b> Ubicación de las 18 parcelas propuestas para la realización de los tratamientos silviculturales y las obras de conservación de suelo y agua. ....	33
<b>Figura 12:</b> Tratamientos silviculturales y obras de conservación de suelo y agua propuestas para realizar en zonas de exposición sur y exposición norte. ....	33

## RESUMEN

Las bajas precipitaciones y el aumento de las temperaturas, asociadas al cambio climático han provocado efectos en los ecosistemas de la zona central del país. Desde el año 2010, se ha estudiado el fenómeno del pardeamiento, que ocurre en la zona mediterránea del país. El pardeamiento corresponde al cambio de coloración verdosa de las formaciones boscosas, a colores pardo, rojizos, café y/o anaranjados.

El presente estudio busca realizar una propuesta de tratamiento silvicultural y obras de conservación de suelo y agua en la Reserva Natural Altos de Cantillana, mediante la caracterización de zonas de exposición norte y sur por medio de parcelas de inventario forestal. En cada parcela se realizó un listado de la flora vascular leñosa y un inventario dasométrico (volumen, área basal, cantidades de vástagos y el estado sanitario de los árboles). También se caracterizó el suelo en cuanto a la profundidad efectiva, hojarasca, pedregosidad e infiltración. Las laderas analizadas difieren en la cantidad de cepas; en la exposición sur se muestreó un total de 206 cepas, las cuales 116 corresponden a especies arbóreas que poseen diámetro a la altura del pecho mayor a 5 centímetros. Mientras que en la exposición norte se muestreó un total de 142 cepas, las cuales 52 de las cuales corresponden a especies arbóreas con diámetro a la altura del pecho mayor a 5 centímetros. Respecto al área basal y volumen que presenta la ladera de exposición norte, los valores son de 8,6 m<sup>2</sup>/ha y 19,2 m<sup>3</sup>/ha respectivamente, mientras que en ladera de exposición sur el valor aumenta a 14,7 m<sup>2</sup>/ha y 43,7 m<sup>3</sup>/ha respectivamente. Las especies arbóreas que se repiten en ambas laderas son *Lithraea caustica*, *Peumus boldus*, mientras que la especie arbustiva más abundante corresponde a *Colliguaja odorífera*. Respecto a los tratamientos silviculturales se sugiere realizar diferentes actividades que implican la reducción en biomasa. Se proponen podas de restauración a un 10 y 30% de la materia viva, además de podas sanitarias de hasta un 80% de la necromasa. Se plantea aplicar la misma intensidad en ambas laderas, con la finalidad de que los individuos aprovechen de mejor forma los recursos hídricos disponibles. Referente a las obras de conservación de suelo y agua, se propone realizar zanjas de infiltración con residuos de podas dentro de esta, colocar mulch sobre el suelo y realizar fajinas con lo extraído de los manejos. La finalidad de las obras es retener mayor cantidad de agua además de generar mayor infiltración y menor escurrimiento superficial. Se plantea mantener sectores control donde no se ejecuten intervenciones para comparar en el tiempo las respuestas del bosque. Las propuestas de monitoreo se enfocan sobre la vegetación, el crecimiento y estado sanitario de las especies como también características propias del suelo.

**Palabras clave:** Pardeamiento, bosque esclerófilo, condición hídrica, retención de humedad, formación boscosa.



## ABSTRACT

The low rainfall and the increase in temperatures have affected the climate of the central zone of the country. Since 2010, the browning phenomenon in the Mediterranean area has been studied, which corresponds to the change from the greenish coloration of forest formations to brown, reddish, and/or orange colors.

This study proposes a silvicultural treatment and soil and water conservation practices in the Reserva Natural Altos de Cantillana by characterizing north and south exposure zones through forest inventory plots. In each plot, the following was carried out: a floristic list of woody vascular flora; dasometric analysis to determine volume, basal area, number of stems and the health status of trees; and a characterization of the soil conditions, such as effective depth of the soil, leaf litter, stoniness, and infiltration. The slopes analyzed differ in the number of stems that both exposures have. Thus, in the southern exposure, 206 stems were sampled, of which 116 correspond to tree species with a diameter at breast height greater than 5 centimeters. On the other hand, in the northern exposure, 142 stems were sampled, of which 52 correspond to tree species with a diameter at breast height greater than 5 centimeters. Regarding the basal area and volume, the northern slope shows values of 8.6 m<sup>2</sup>/ha and 19.2 m<sup>3</sup>/ha, and on the southern slope, the value increases to 14.7 m<sup>2</sup>/ha and 43.7 m<sup>3</sup>/ha, respectively. The tree species present on both slopes are *Lithraea caustica* and *Peumus boldus*, while the most abundant shrub species is *Colliguaja odorifera*. Regarding silvicultural treatments, it is proposed to carry out different activities that involve reducing biomass, restoration pruning to 10 and 40% of living matter, and sanitary pruning to up to 80% of necromass. The foregoing is proposed to be applied in the same way on the southern and northern exposure slopes so that species take better advantage of the available water resources. Regarding soil and water conservation practices, it is proposed to make infiltration ditches with pruning residues inside, place mulch over the soil and make *fajines* with what is extracted from forest management. This is to retain a greater amount of water in addition to generating greater infiltration and less surface runoff. It is proposed to use control sectors, where no interventions are carried out, to compare the responses of the forest over time. A monitoring system is proposed on the flora, growth, and health status of the species as well as the characteristics of the soil.

**Keywords: Browning, sclerophyllous forest, water condition, moisture retention, forest formation.**

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, se observan cambios sin precedentes en el clima, con variaciones en factores como la temperatura, precipitación, intensidad y frecuencia de los fenómenos ambientales. Se estima que, para finales de este siglo la temperatura en la superficie terrestre podría aumentar entre 2,6 y 4,8 °C, además se observa una reducción de las precipitaciones en los sectores subtropicales (IPCC, 2013).

A nivel mundial, las regiones en donde la preocupación es mayor producto de su vulnerabilidad es en América latina y el Caribe, dado la gran biodiversidad que albergan (Sekercioglu, *et al.*, 2011). Estos cambios en el clima pueden afectar la economía y a la sociedad de estos lugares, ya que dependen de los servicios y productos que la naturaleza ofrece para su subsistencia (Uribe, 2015). El IPCC (2002) indica que se cambiará la dinámica poblacional tanto de flora como de fauna en las zonas áridas y semiáridas en esta región, producto de la variabilidad climática y la disminución en la disponibilidad hídrica.

En términos climáticos, la zona mediterránea es una variante del clima subtropical, la cual se puede encontrar en cinco zonas a nivel mundial, gran parte de California, zona occidental en Australia, al suroeste de Sudáfrica, sectores en la cuenca Mediterránea y la zona central de Chile (Ovejero y Minetti. 2016). La ecorregión mediterránea en Chile es considerada uno de los 35 hotspots de biodiversidad a nivel mundial (MMA, 2014), dado el gran endemismo que alberga y por presentar un alto grado de vulnerabilidad por las distintas actividades humanas que se realizan en la zona (Marquet, *et al.* 2017), como lo es la sobreexplotación de los cerros, la contaminación de las aguas, la deforestación, la habilitación de terrenos para su uso agrícola y/o forestal, la urbanización. Además de los efectos del cambio climático ya mencionados, se le suma la introducción de especies invasoras, situaciones que se han triplicado los últimos 50 años, generando un riesgo muy alto para la biodiversidad (IEB, 2018).

La reducción de las precipitaciones de la zona central del país posee un efecto significativo directo frente al fenómeno de pardeamiento de los bosques. El pardeamiento se define como el cambio en la coloración de los árboles, de tonos verdosos, pasan a café-rojizos (Labra y Figueroa, 2020). Síntoma que puede indicar daño o en casos severos la muerte de los árboles. Se identificó que las zonas más susceptibles a este cambio es el bosque esclerófilo semiárido, dominados por especies que son tolerantes a la sequía (Miranda, *et al.*, 2020), como también en los bosques hidrófilos de quebrada, donde se ha observado la desecación foliar y muerte de individuos que habitan los remanentes azonales del bosque mediterráneo, por lo que una reducción a este factor puede perjudicar la continuidad de estos bosques en el tiempo (Flores, 2020).

## 1.1 Pardeamiento

Se han registrado cambios en los patrones de precipitación y temperatura a nivel mundial. Seager (2007), realizó un modelo de proyección respecto al cambio de clima al suroeste de Estados Unidos, el cual afirma que la transición climática más árida ya se encuentra en desarrollo, es decir, la reducción en la precipitación y el aumento de la temperatura es algo que está sucediendo. Un cambio en las condiciones climáticas habituales como lo es la sequía prolongada afecta directamente en la distribución de las especies, a la biodiversidad de los ecosistemas, la producción primaria neta que poseen además de los bienes y servicios que estos proporcionan (Clark, *et al* 2016). Hay registros de tasas de crecimiento decrecientes de *Pinus edulis*, *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii* en el sur oeste de Estados Unidos (Williams *et al.*, 2013). El informe de evaluación del IPCC indica que la zona mencionada es vulnerable; según las proyecciones de los modelos ocurrirá una aridización progresiva hasta finales de este siglo (Cook, *et al.* 2010).

Se estima que se han afectado cerca de 20 millones de hectáreas en el oeste de América del norte, debido a extensos brotes de mortalidad en los bosques de la zona (Bentz, *et al.* 2009). En Canadá, a modo de ejemplificación la sequía ha generado la mortalidad de *Populus tremuloides* en casi un millón de hectáreas entre Saskatchewan y Alberta (Hoog, *et al.* 2008). Casos similares ocurren en Europa, por ejemplo, entre 1990 y 2000 debido a las condiciones secas y cálidas ocurridas en la región mediterránea se generó el aumento de la muerte de muchas especies leñosas en España (Peñuelas *et al.*, 2001). En Francia, luego de la ola de calor y sequía ocurrida en el verano del 2003, se registró el incremento de la mortalidad de roble, abetos, piceas, hayas y pinos (Breda *et al.* 2006). Una causa a la que se le puede atribuir este cambio de coloración en los árboles es la inanición de carbono sensible a las temperaturas en respuesta a un periodo con escasez hídrica (Henry, *et al.* 2009).

## 1.2 Disponibilidad de agua en el suelo

El agua se mueve desde el suelo a través de la planta hasta la atmósfera, este transporte se produce por flujo de masas, un proceso pasivo impulsado por presión, ya que responde a fuerzas físicas que se genera cuándo el potencial hídrico de la planta es más negativo que el del suelo (Peña-Rojas. 2018). Cuando el suelo presenta baja disponibilidad hídrica, la planta reacciona reduciendo su tasa de transpiración y la tasa neta de asimilación de carbono, por medio del cierre estomático, lo que genera una detención del crecimiento (Martínez, *et al.* 2002). La sequía prolongada puede generar problemas en la fisiología de los árboles, provocando alteraciones en su estructura, como el desprendimiento de hojas y brotes (Rood *et al* 2000). Cuando la reducción de la disponibilidad hídrica sobrepasa los límites fisiológicos del vegetal, puede conducir a la muerte de los árboles, implicando de esta forma cambios en la composición de especies y estructura del bosque (Clark, *et al.* 2016). La cantidad de agua en el suelo y la tasa de movimiento del agua que existe en el suelo depende en gran medida del tipo de suelo y su estructura (Valladares, *et al.* 2014). Este movimiento se genera por flujo de masa a través de los poros del suelo y ocurre producto del gradiente de presión, como también de la difusión de vapor de agua, la intensidad del flujo de agua por el suelo depende de la magnitud del gradiente de presión y de la conductividad hidráulica que posee (Peña-Rojas. 2018).

### **1.3 Infiltración del agua en el suelo**

La conductividad hidráulica es la propiedad del suelo que mide la capacidad de transmitir el agua. Son muchos los factores que determinan esta capacidad que posee el suelo, tanto para sus entradas, como sus salidas, es decir, la conductividad hidráulica nos indica cómo se regula el flujo de agua de drenaje (Dirksen, 1990). La vegetación que crece y coexisten sobre el suelo, el tráfico de animales que existe en la zona son considerados factores extrínsecos (Nielson *et al.*, 1999) la textura, estructura del suelo, el tamaño de los poros y la distribución de estos en el suelo (Jury y Horton, 2004) corresponden a los factores intrínsecos que afectan esta propiedad del suelo. Los factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, varían de un sitio a otro, por lo que es una propiedad que varía (Ellies *et al.*, 1997; Dörner y Dec, 2007) de forma considerable dentro del espacio.

La utilización del infiltrómetro de disco permite evaluar la conductividad hidráulica que posee el suelo, en condiciones no saturadas, posibilitando la evaluación de la conductividad hidráulica con bajas tensiones (Perroux y White, 1988) este instrumento posee carga negativa constante, utilizando potenciales hídricos cercanos a saturación, controlando la tensión mediante un tubo de suministro de agua, por lo que puede utilizarse para la determinación de las propiedades hidráulicas en condición saturada o insaturada (Aoky y Sereno, 2005). El instrumento posee características que lo destacan, como es la mínima alteración que provoca al sitio, la simplicidad del instrumento, además de que permite caracterizar la transición de agua del suelo (Walker *et al.*, 2006) lo que permite comprender cómo responde el sitio cuando hay episodios de precipitación.

### **1.4 Silvicultura para la conservación**

Bajo el contexto de la restauración de los bosques degradados y con la finalidad de evitar una pérdida mayor de biomasa en el bosque, además de buscar hacerlos más resilientes a los cambios climáticos, la silvicultura surge como una opción para ayudar a la funcionalidad de la formación boscosa e incrementar los bienes y servicios ecosistémicos que entregan (Bannister, *et al.*, 2016). La reducción de las precipitaciones afecta directamente a los bosques; se entiende que la mantención de la humedad en el suelo a lo largo del tiempo es un factor importante para considerar respecto al vigor y sobrevivencia de las especies, aún más importante que el hecho de recibir una menor cantidad de radiación solar (Miranda, *et al.* 2020). Es importante considerar el rol que posee la vegetación en la regulación del ciclo hidrológico de la cuenca (Flores, 2020).

La intervención aplicada y estratégica que se realiza al bosque debe considerar adecuadamente la estructura y el estado actual, como también las condiciones topográficas del sitio y a lo que se desea llegar, para así poder tomar decisiones certeras respecto a la restauración y conservación de los bosques altamente amenazados (Miranda, *et al.* 2020).

Debido a lo mencionado con anterioridad, el presente proyecto tiene como objetivo elaborar una propuesta de manejo silvicultural y obras de conservación de suelo y agua para minimizar la afectación del bosque producto de la sequía en la Reserva Natural Altos de Cantillana. Lo anterior se realizó mediante la caracterización de la formación boscosa, su condición actual, la flora leñosa y vegetación presente. Posteriormente se realizaron las propuestas de tratamientos silviculturales y obras de conservación de suelo y agua, actividades que proponen el

mantenimiento o el aumento de agua disponible en el suelo. Finalmente, se describe la propuesta de indicadores para realizar el seguimiento y monitoreo de los resultados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Reserva Natural Altos de Cantillana

La Reserva Natural se encuentra ubicada al suroeste de la laguna de Aculeo, en la comuna de Paine (Proia, 2008). Es parte del cordón de Cantillana ubicado en la cordillera de la Costa de la Región Metropolitana, que tiene un total de 205 mil hectáreas. La Reserva Natural Altos de Cantillana (RNAC), de carácter privada, comprende 12.634 hectáreas de este gran macizo montañoso formado por altas cumbres y valles que están protegidas desde el año 2008, con la finalidad de conservar el sector (Romero, *et al.* 2012). Cerca del 40% de la flora vascular es endémica, y la vegetación está principalmente conformada por bosques y matorrales esclerófilos (Universidad de Chile, 2007).

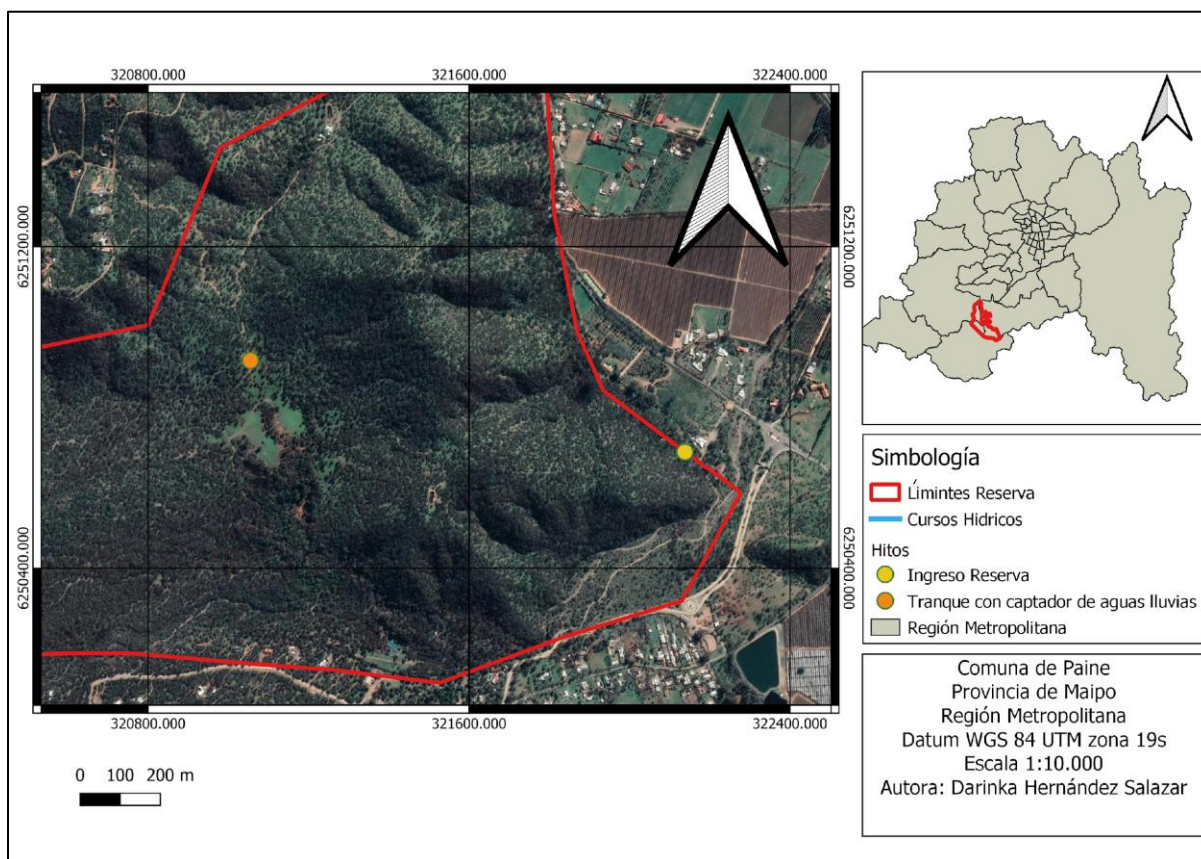
#### 2.1.2 Antecedentes vegetacionales de la Reserva Natural Altos de Cantillana

En esta región se puede encontrar el bosque esclerófilo, con subtipos hidrófilos, espinosos y mixtos. La zona es considerada de transición climática dado el amplio gradiente de precipitación respecto al límite sur y al límite norte, producto del gradiente latitudinal de precipitaciones y de temperatura, además de la geografía propia del país (Bustamante, *et al.*, 2020).

La estructura del bosque esclerófilo de la zona presenta una fisonomía de matorral, en ciertos lugares más arborescente que en otros, lo cual depende de la pendiente de la zona, la alteración, la latitud y la exposición (Donoso, 1981). Los rodales mixtos corresponden a formaciones donde dominan especies como *Cryptocarya alba*, *Peumus boldus*, *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, *Maytenus boaria*, *Schinus latifolia*, *Kageneckia oblonga* en formaciones bosque-matorral. En sectores donde la humedad es un factor importante, se desarrolla lo que Donoso (1982) denomina bosque higrófilo de quebrada y suelos húmedos, donde la humedad del suelo se obtiene desde los cursos de agua tanto superficiales como de la napa freática, en estas zonas húmedas y sombrías domina principalmente peumo (Donoso, 1981), como también se encuentran especies como *Peumus boldus*, *Crinodendron patagua*, *Beilschmiedia miersii*, entre otros (Flores, 2020). Estos bosques varían como se mencionó anteriormente, según las condiciones donde se desarrollan, sin embargo, presentan en común que el bosque es dominado por especies que son exigentes respecto a la humedad del suelo, con dosel cerrado, con alturas aproximadas de 15 metros y 60 cm de DAP (Rundel & Weisser, 1975). La dinámica del tipo forestal esclerófilo, frente a condiciones de alteración evidente, la vegetación presenta mayor abundancia de espinos, y especies espinosas, además la reproducción vegetativa es mayor que la reproducción por semillas (Donoso, 1981).

#### 2.1.3 Área de estudio

El estudio se realizó en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana (Figura 1). El área estudiada corresponde a los primeros 2.600 metros desde el ingreso a la reserva en forma lineal.



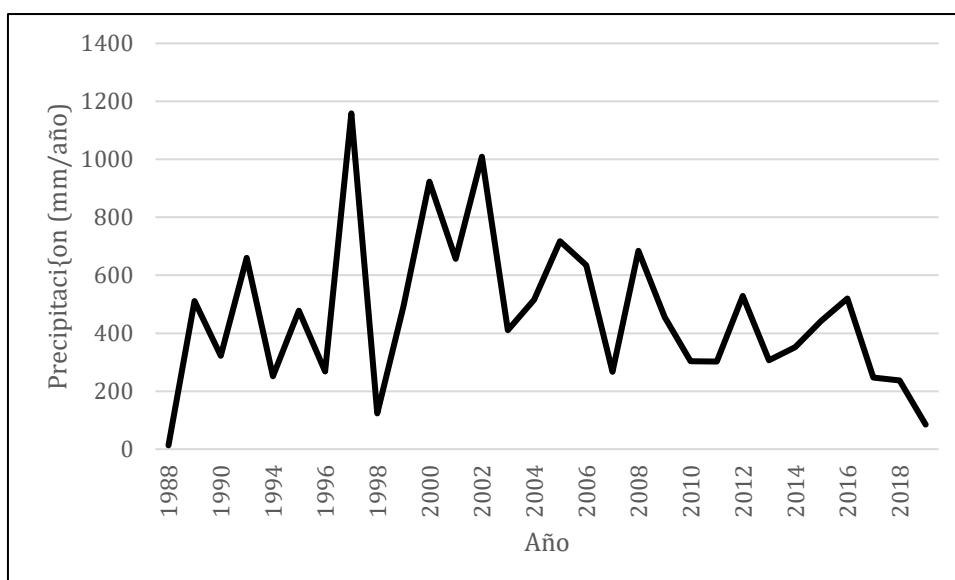
**Figura 1:** Ubicación geográfica de la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana, Región Metropolitana y de los hitos importantes de reconocer.

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales e información colectada en terreno.

### 2.1.4 Antecedentes climáticos

El clima de la zona sur de la Región Metropolitana se clasifica como templado-cálido, con una estación seca prolongada que presenta una duración de 6 a 8 meses (Universidad de Concepción, 2004). El régimen térmico de la zona se caracteriza por presentar veranos temperaturas promedio entre 28 y 30 ° C, mientras que en los inviernos las temperaturas oscilan entre 0 y 5°C (Rivas, 2019).

Sobre la información obtenida de los 30 años de precipitaciones, ha caído una cantidad acumulada media de 723,5 mm (CR2, 2017). El 2002 fue uno de los picos más altos de precipitación anual alcanzando 1.009 mm, desde esa fecha en adelante la reducción de la precipitación ha sido muy marcada. El promedio de los últimos 10 años de información, demuestran que el escenario actual es cada vez más seco, donde la precipitación acumulada no supera los 340 mm, alejándose de los rangos considerados históricamente normales (Figura 2, CR2, 207).



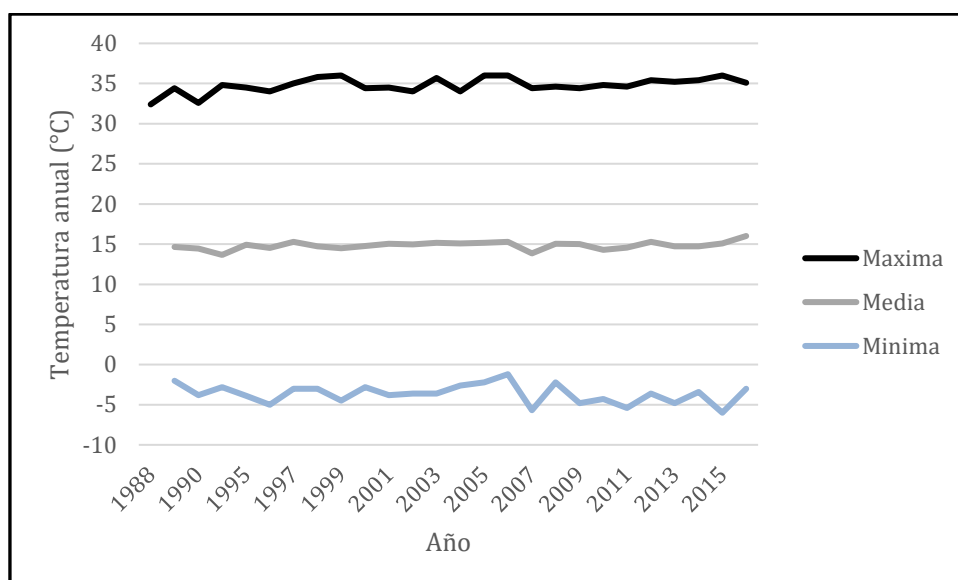
**Figura 2:** Precipitación (mm/año) desde 1980 hasta 2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de CamelsCR2, estación meteorológica, Río Angostura en Valdivia de Paine.

Observando los últimos 10 años de la Figura 2, se evidencia como ha decaído la cantidad de precipitación en la zona desde el año 2000. Si se consideran los años anteriores, entre 1955-1985, considerados “inviernos relativamente lluviosos” los cuales producen que la tendencia general en las precipitaciones sea positiva, sin embargo, la tendencia de los últimos años indica que la reducción de las precipitaciones va del orden del 40% (CONAMA, 2016).

En relación con las variaciones en las temperaturas, la media anual ha oscilado entre los 13 y 16°C, entregando un promedio de 15°C (Figura 3, CR2, 2017). Se observa que las variaciones en temperatura no han sido tan notorias en comparación con las precipitaciones, además de que las máximas temperaturas anuales han ido aumentando su valor en el tiempo (Figura 3).





**Figura 3:** Temperatura anual (°C) de máximas, media y mínima desde el año 1980 a 2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de CamelsCR2, estación meteorológica, Río angostura en Valdivia de Paine.

Si se analizan los valores diarios, se observa la tendencia al aumento sobre las temperaturas máximas y mínimas registradas, las cuales van en el orden del  $+0,055^{\circ}\text{C}/\text{década}$  y de  $+0.18^{\circ}\text{C}/\text{década}$  respectivamente (CONAMA, 2016). Es decir, las variaciones en cuanto a la temperatura están ocurriendo.

### 2.1.5. Instrumentos

Para la caracterización de la vegetación en cada una de las parcelas se utilizaron los siguientes instrumentos: forcípula, clinómetro, pistola haga, GPS, cinta métrica. Mientras que, para conocer infiltración del suelo se utilizó el infiltrómetro de minidisco METER grup modelo S. Además de arena, agua desmineralizada, cronómetro, una pala, bolsas de plástico, rociador, además se utilizó equipamiento necesario para evaluar la textura y densidad aparente del suelo, realizado en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

## 2.2 Método

Para el planeamiento de las zonas a muestrear, se utilizaron imágenes satelitales con el propósito de identificar zonas homogéneas en cuanto a vegetación. Mediante la realización de parcelas en unidades cartográficamente homogéneas se definió y caracterizó la formación boscosa. Actividad acompañada de las propuestas de manejo silvicultural y obras de conservación de suelo y agua. Finalmente, para detectar los cambios que se originan al momento de la realización de ambas actividades, se propuso el monitoreo de estas zonas respecto a variables que se consideran de interés. Variables que se espera que presenten cambios al momento de la ejecución de la propuesta.

### 2.2.1 Definición de la formación boscosa a medir

Para definir la ubicación de las parcelas, se utilizaron imágenes satelitales del último periodo de la plataforma Google Earth, en conjunto con la plataforma QGIS. Las imágenes fueron obtenidas mediante la opción *xyz tiles* del sistema de información geográfica QGIS versión 3.4.6 identificando las zonas que presentan una textura del grano similar, además de que tres de ellas corresponden a laderas de exposición sur y otras tres a exposiciones norte. Con los criterios anteriores y con el apoyo del modelo de elevación digital (ALOS Palsar 12,5 m) se definió las unidades cartográficamente homogéneas (UCH) a una escala predial de 1:2.500.

### 2.2.2 Caracterización de la formación boscosa

La vegetación hace referencia a los aspectos cuantitativos del bosque, mientras que la flora hace referencia a las especies que lo componen (Hernández, 2000). Mediante el levantamiento de información en terreno se determinó la flora leñosa y el estado de la vegetación. En cada UCH definida, se realizó una parcela de 25 X 25 metros. La ubicación de cada uno de los vértices de la parcela se registró con GPS, y para delimitar se utilizó cintas para marcar cada uno de los vértices y lados de la figura geométrica.

### Inventario Dasométrico

A cada individuo leñoso que se encontró dentro de la unidad inventariada, se midió la totalidad de sus vástagos iguales o mayor a 5 centímetros, el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura, el estado sanitario de cada vástago se clasificó según lo descrito en el cuadro 1, además se midió el diámetro de copa eje norte-sur y eje este-oeste. Cuando el DAP en los vástagos correspondía a un valor menor a 5 centímetros, se realizó un promedio de sus alturas y cobertura de copas de los individuos. Para poder conocer el volumen que presenta la parcela, se utilizaron las funciones presentadas en el cuadro 1, mientras que para identificar el área basal se utilizó la fórmula:  $\pi * DAP^2 / 40000$ . Para el caso de árboles multifustales, se obtuvo el área basal de cada uno de los fustes, de igual forma que si fuesen árboles monofustales. Para extrapolar los datos obtenidos a una hectárea se utilizó la fórmula  $10.000 / (\text{número de parcelas} * (\text{área parcela}))$ . Se utilizó marcas de clase con intervalos de 5 centímetros cada uno, como se muestra en el cuadro 2.

**Cuadro 1:** Fórmulas de volumen utilizadas para las especies arbóreas leñosas (Drake, *et al.* 2003).

Especie	Volumen (m <sup>3</sup> )
<i>Quillaja saponaria</i>	$= 0,0002 * ((DAP^2(\text{cm}^2) * h(\text{m}))^0,7848$
<i>Lithraea caustica</i>	$= - 0,000000001 * ((DAP(\text{cm}))^2 * h(\text{m}))^2 + 0,00004 * ((DAP(\text{cm}))^2 * h(\text{m})) + 0,0025$
<i>Acacia caven</i>	$= - 0,000000006 * (DAP^2(\text{cm}^2) * h(\text{m}))^2 + 0,00005 * (DAP^2(\text{cm}^2) * h(\text{m})) + 0,0041$

<i>Peumus boldus</i>	$= - 0,000000004*(Dap^2 (cm)^2 *h (m))^2 + 0,00004*(Dap^2 (cm)^2 *h (m)) + 0,0016$
<i>Cryptocarya alba</i>	$= 0,00000000005*((Dap^2 (cm^2)*h (m))^2 + 0,00003*((Dap^2 (cm^2)*h (m))) + 0,0032$

**Cuadro 2:** Intervalos a utilizar para determinar la marca de clase.

Intervalo DAP (cm)	Marca de clase
0-5	1
5-10	2
10-15	3
15-20	4
20-25	5
25-30	6
30-35	7

### Estado sanitario

Respecto a la respuesta del bosque frente al evento de reducción de precipitaciones y al aumento de temperatura, se determinó que clasificar el estado sanitario de cada vástago resulta una información útil para conocer de qué forma se están comportando, y a su vez de identificar la posible evolución o cambio de estos parámetros en el tiempo.

**Cuadro 3:** Clasificación y descripción del estado sanitario para los individuos arbóreos.

Clasificación	Descripción
0	Corresponde a árboles no defoliados. Con un porcentaje de defoliación entre 0 y 10%.
1	Corresponden a árboles ligeramente defoliados. Con un porcentaje de defoliación entre 10 y 15%.
2	Corresponden a árboles moderadamente defoliados. Con un porcentaje de defoliación entre 15 y 60%.
3	Corresponden a árboles gravemente defoliados. Con un porcentaje de defoliación entre 60 y 95%.
4	Corresponden a árboles secos. Con un porcentaje de defoliación mayor a un 95%

Fuente: Consejería de agricultura y pesca (2009).

## Listado de la flora leñosa

Dentro de la misma parcela, se realizó un listado florístico de las especies leñosas presentes. Se reconocieron la mayor cantidad de especies en terreno. Las que no pudieron ser identificadas, se les asignó un código y se tomaron fotografías, para poder determinar posteriormente sus nombres. Dado lo mencionado, se puede conocer la riqueza de especies leñosas existente en cada una de las parcelas, a su vez, se reconoce si alguna de ellas presenta algún estado de conservación.

## Descripción del suelo

El suelo corresponde al medio físico donde se desarrollan las formaciones vegetales, porque de ellos se sustenta la vegetación existente (Manzur y Villalba. 2008). Dentro de la misma parcela donde se realizó el inventario forestal y el listado florístico, se levantó información puntual en tres zonas representativas dentro de la parcela.

Con la pala se hizo un agujero para conocer la profundidad efectiva del suelo (se dejó de cavar cuando este requería una fuerza superior a la normal y/o las piedras no permitían seguir penetrando en el suelo), posterior a dejar de cavar, se midió con cinta métrica la profundidad que se alcanzó. Con una regla se determinó la profundidad que presentaba la hojarasca. La pedregosidad superficial se definió según lo descrito en el cuadro 2. Finalmente, con el infiltrómetro se realizó una medición a tres tensiones distintas (-1, -3, -6 hPa), el instrumento permite conocer la conductividad hidráulica no saturada del suelo y la tasa de infiltración que presenta. La textura se estimó mediante muestras obtenidas en terreno donde parte de la tierra removida utilizada para conocer la profundidad del suelo se almacenó en bolsas plásticas y marcada con el número de parcela para llevar las muestras al laboratorio y conocer la clase textura del suelo de la parcela (aproximadamente 1 kilo, siendo esta una mezcla de la muestra obtenida de los tres puntos).

**Cuadro 4:** Clasificación y descripción de la pedregosidad superficial del suelo.

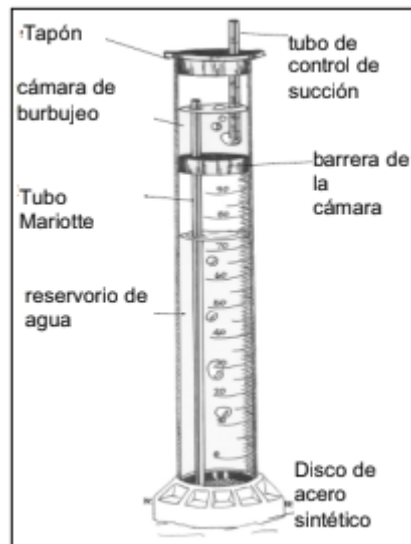
Clase	Descripción
Sin pedregosidad	0 a <5 % de piedras.
Ligera	5 a <15% de piedras.
Moderada	15 a <35% de piedras.
Abundante	35 a <50% de piedras.
Muy abundante	>50% de piedras.

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero, 2011.

## Infiltración de agua en el suelo

Para proceder a tomar las mediciones con el minidisco infiltrómetro, se despejó la hojarasca de la zona, exponiendo el suelo en una superficie plana, a la zona ya descubierta de vegetación se agregó un poco de arena y roció agua, lo anterior con la finalidad de que la placa porosa del minidisco tenga un buen contacto con la superficie rugosa del suelo (Angulo-Jaramillo *et al.* 2000). Posteriormente, se llenaron las dos cámaras del instrumento con agua cámara de control de tensión, la cual se encuentra graduada corresponde a la parte superior del instrumento y se encuentra graduada desde el -1 al -6, mientras que la parte de abajo corresponde a la cámara de succión, la cual mide la infiltración acumulada del suelo en ml (Figura 5).

Al llenar las dos cámaras del minidisco con agua, se colocó sobre la capa fina y húmeda de arena, se observó los ml con los que se inicia la medición, se ajustó a la tensión en -1 y se inició el tiempo en el cronómetro luego se anotó el valor que se en ml. La determinación se realizó cada 30 segundos (altura del agua infiltrada), repitiendo esta acción hasta los 600 segundos (10 minutos), luego de transcurrido este tiempo se aumentó la tensión a -3, se repitió el proceso para finalmente pasar a una tensión -6, de la misma forma que se realizó anteriormente. Esta acción se ejecutó en tres zonas dentro de la parcela (con los datos anteriores se define que se terminó una de las tres mediciones puntuales que se realiza en cada parcela). Este proceso, se demora aproximadamente 2 horas mínimo.



**Figura 4:** Modelo de minidisco-infiltrómetro Decagon Device modelo S. Utilizado para las mediciones en condiciones no saturadas del flujo de agua.

Fuente: Silva, C. 2015.

Esta información es necesaria para determinar el estado del suelo, respecto a su capacidad de conducir agua juego de un evento de lluvia y de esta forma estimar en qué condiciones de precipitación se producirá o no escurrimiento superficial.

Para el procesamiento de los datos, se debe tener el registro de las tres repeticiones por parcela, se utilizó el método de Zhang (1997), donde se considera la geometría del agua desplazada en el suelo (bulbo de mojado del equipo) en función de la clase textural del suelo.

Lo descrito por Zhang, requiere la medición de la infiltración acumulada en función de la raíz del tiempo, ajustando los resultados con la función:

$$l = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

Siendo  $C_1$  y  $C_2$  los parámetros de ajuste. Los que corresponden a una expresión que es transformada a un modelo cuadrático, donde  $C_1$  representa la curvatura de una parábola obtenida de los datos recopilados y está relacionada con la permeabilidad. por otro lado  $C_2$  corresponde a la pendiente estabilizada de la parábola, correspondiente a la sortividad del suelo. La conductividad hidráulica del suelo (K) se calculó en función de la siguiente ecuación

$$K_{ns} = C_1 / A$$

Siendo  $C_1$  la curvatura de la infiltración acumulada a esa determinada tensión en función de la raíz del tiempo. Función de tipo polinómica descrita en (I). A se obtiene de la siguiente ecuación, siendo los valores de n y  $\alpha$  parámetros de ajuste de Van Genuchten (1980).

$$A = \frac{11,65 (n^{0,1}-1) \exp [2,92(n-1,9)\alpha]}{(r)^{0,91}}; \text{ si } n > 1,9$$

$$A = \frac{11,65 (n^{0,1}-1) \exp [7,5(n-1,9)\alpha]}{(r)^{0,91}}; \text{ si } n < 1,9$$

Los parámetros de Van Genuchten, dependen de las clases texturales del suelo, el parámetro r corresponde al radio de la base del instrumento, en este caso es de 2,25 cm y h tensión de suministro de agua. Carsel y Parrish (1988) determinaron los parámetros de Van Genuchten para las distintas clases texturales, permitiendo obtener los valores de A para el minidisco infiltrómetro.

**Cuadro 5:** Parámetros de Van Genuchten para las 12 clases texturales del suelo y valores de A, según tensión de suministro (Carsel y Parrish, 1988).

A					
Textura	Alpha	n	Presión de suministro (nPa)		
			-1	-3	-6
Arena	0,145	2,68	2,4	1,24	0,46
Areno Francoso	0,124	2,28	2,79	2,12	1,4
Franco Arenoso	0,075	1,89	3,89	3,93	4

Franca	0,036	1,56	5,72	6,87	9,05
Limo	0,016	1,37	8,18	9,29	11,24
Franco Limoso	0,02	1,41	7,37	8,53	10,64
Franco Arcillo Arenoso	0,059	1,48	3,52	5,11	8,92
Franco Arcilloso	0,019	1,31	6,11	7,23	9,3
Franco Arcillo Limoso	0,01	1,23	8,09	8,95	10,41
Arcillo Arenosa	0,027	1,23	3,57	4,68	7,04
Arcillo Limoso	0,005	1,09	6,17	6,56	7,18
Arcilla	0,008	1,09	4,1	4,51	5,22

Los valores de  $K_{ns}$  y las mediciones obtenidas en terreno, permitieron realizar una regresión lineal, con la cual se determinó la conductividad hidráulica saturada ( $K_s$ ) al igualar la tensión a cero de cada parcela, y cada exposición.

### **Análisis de los datos**

Para analizar los datos obtenidos de área basal, el volumen que tiene cada exposición, además del grado de defoliación que presenta, se utilizó el programa *infostat*, para realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos. De esta forma, comparar los resultados y corroborar si hay interacciones significativas entre ambas exposiciones.

El análisis estadístico se realizó mediante ANDEVA, el cual permite evaluar el efecto de los factores con un nivel de confianza de  $\alpha=0,05$ . Con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos, se realizó un test Kruskal-Wallis el cual compara la mediana de las variables (Aranda, A . 2013)

### **2.2.3 Propuesta de tratamientos silviculturales y obras de conservación de suelo y agua**

Los tratamientos para proponer se definieron en base a revisión bibliográfica y en base a los datos recolectados en terreno.

#### **Tratamientos de reducción de biomasa**

Vita (2017) indica que la forma más efectiva y realista para combatir los procesos de degradación y desertificación corresponde a identificar la condición actual, las limitaciones y la potencialidad de los ecosistemas a intervenir.

Se proponen actividades silviculturales con la finalidad de reducir la superficie transpirante de los individuos. Lo anterior está condicionado a que una disminución del área foliar producto de un manejo silvicultural, genera una reducción significativa de la evapotranspiración de los individuos manejados (Munka, 2010).

## **Tratamientos de conservación de suelo y agua**

Se proponen tratamientos que propendan a la captura de agua y que eviten pérdidas por evaporación utilizando lo extraído de los sistemas restantes. Lo anterior tiene por finalidad que el agua retorne al sistema evitando el escurrimiento superficial, considerando además de que la presencia de material orgánico en el suelo favorece la retención de agua en el suelo (Rovere, 2000).

### **2.2.4 Propuesta de indicadores para el seguimiento y monitoreo de los resultados respecto al bosque que no fue intervenido**

Para identificar si los resultados corresponden a los esperados, esta memoria de título propone indicadores de medición considerando la intensidad, duración y frecuencia de las variables a monitorear. Los indicadores se agruparán en:

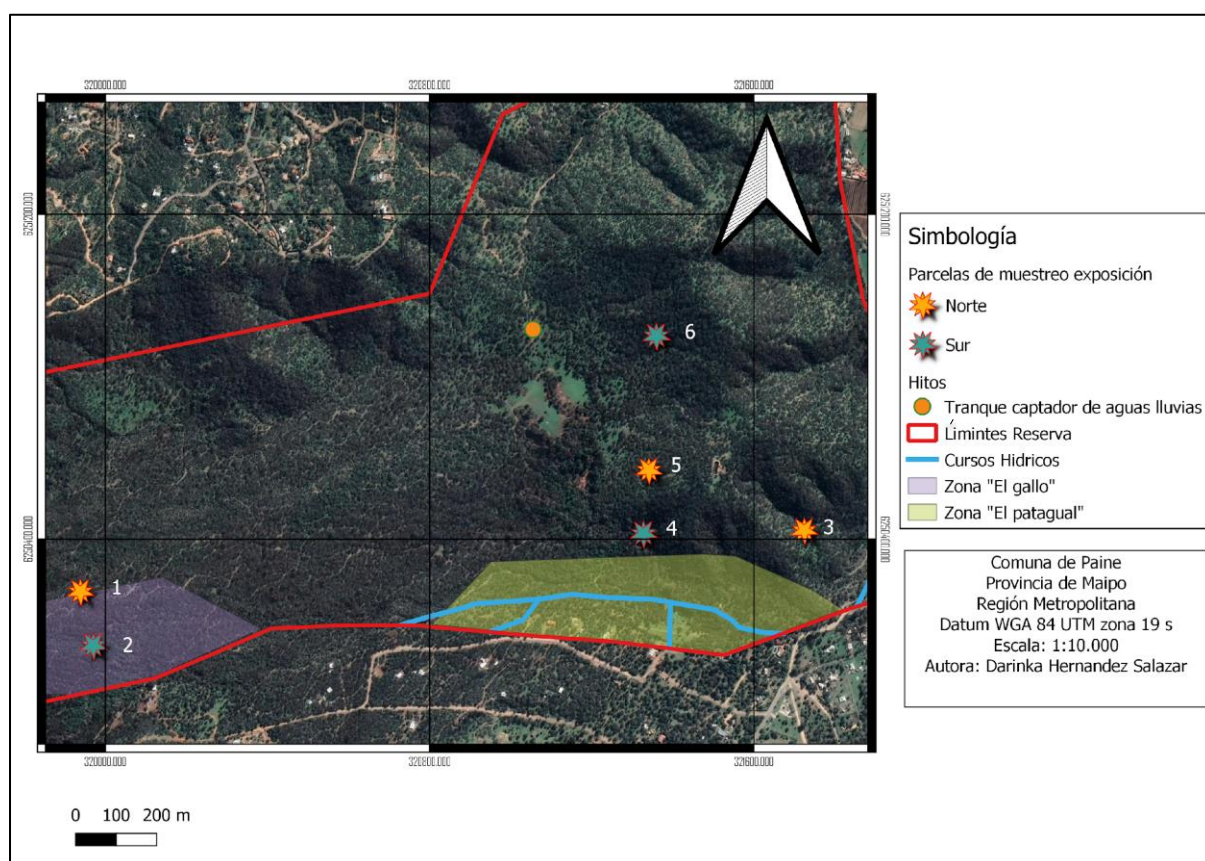
- Respuesta de los tratamientos sobre la flora y vegetación.
- Respuesta de los tratamientos sobre el crecimiento y condición sanitaria de la vegetación.
- Respuesta de los componentes del suelo.



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Selección del área de trabajo

Se seleccionaron seis unidades cartográficamente homogéneas según la exposición. Siendo este uno de los principales factores al escoger las unidades a muestrear, además del grano que presentaba la imagen. Se ubicaron cuatro parcelas en el sector conocido como “El Patagual” y las otras dos en el sector conocido como “El Gallo”, existiendo tres unidades muestrales por exposición.



**Figura 5:** Ubicación geográfica de las seis parcelas de muestreo realizadas en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana. Los hitos importantes de reconocer, las parcelas 1, 3 y 5 corresponden a exposiciones norte, mientras que las parcelas 2, 4 y 6 a exposiciones sur.

Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales e información recopilada en terreno.

#### 3.2 Caracterización de la formación boscosa

A continuación, se describen las especies leñosas que están presentes en ambas situaciones, la cantidad de individuos monofustales y multifustales, el número de cepas, el número de vástagos, el estado sanitario, el volumen y el área basal.

### 3.2.1 Listado de la flora leñosa

En el estudio se encontró un total de 16 especies leñosas. Ninguna de estas presenta un estado de conservación según el proceso 16 de clasificación de especies según el estado de conservación (Ministerio del medio ambiente, 2015).

La riqueza se refiere al número de especies existentes en una determinada área (BOLFOR, 2000). La zona que posee una mayor riqueza corresponde a la exposición norte con 14 especies, mientras que la exposición sur presenta 12 especies. Las especies que solo se encontraron en laderas de exposición norte corresponden a *Proustia pyrifolia* DC, *Sophora macrocarpa* Sm, *Kageneckia oblonga* Ruiz & Pav. y *Ephedra chilensis* C. Presl, mientras que *Azara dentata* Ruiz & Pav. y *Berberis chilensis* Gill. ex Hook son las especies que solo se encontraron en las laderas de exposición sur. Cabe destacar que solo un individuo de *Cryptocarya alba* (Molina) Looser fue encontrado en una de las unidades cartográficamente homogéneas de exposición norte, además de encontrar individuos de *Beilschmiedia miersii* en zonas cercanas a la parcela 2 de exposición sur.

**Cuadro 6:** Listado de las especies leñosas encontradas en las parcelas de exposición norte y sur, en la Reserva Natural Privada Altos de Cantillana.

Especie	Exposición Sur	Exposición Norte
<i>Quillaja saponaria</i> Molina	x	x
<i>Cryptocarya alba</i> (Molina) Looser	x	x
<i>Lithraea caustica</i> (Molina) Hook. & Arm.	x	x
<i>Peumus boldus</i> Molina	x	x
<i>Colliguaja odorifera</i> Molina	x	x
<i>Echinopsis chiloensis</i> (Colla) Friedrich & G.D. Rowley	x	x
<i>Acacia caven</i> (Molina) Molina	x	x
<i>Proustia pyrifolia</i> DC.		x
<i>Kageneckia oblonga</i> Ruiz & Pav.		x
<i>Chusquea</i> sp.	x	x
<i>Berberis chilensis</i> Gill. ex Hook	x	
<i>Eupatorium salivum</i> Colla	x	x
<i>Ephedra chilensis</i> C. Presl		x
<i>Retanilla trinervia</i> (Gillies & Hook.) Hook. & Arn	x	x
<i>Sophora macrocarpa</i> Sm.		x
<i>Azara dentata</i> Ruiz & Pav.	x	
Riqueza	12	14

Las zonas que comprenden el área de estudio corresponden a bosque esclerófilo, piso vegetacional Bosque esclerófilo mediterráneo interior de *Lithraea caustica* y *Peumus boldus*, y bosque espinoso, piso vegetacional Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Lithraea caustica*, según lo descrito por Luebert y Pliscoff (2006).

Donoso (2015) señala que la condición de exposición sur presenta alta abundancia de *Cryptocarya alba* y que la exposición norte, es decir, en una condición más seca, se destaca una alta cobertura de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*, junto con *Retanilla trinervis* (Donoso, 2015).

Es importante mencionar que no hay especies leñosas con problemas de conservación en ninguna parcela muestreada, sin embargo, existe información que la reserva posee especies que presentan algún grado de clasificación (Magni, *et al.* 2015). Por ende, se recomienda realizar nuevamente un inventario florístico de todas las especies presentes con especialistas si se pretende ejecutar lo propuesto, con la finalidad de evitar errores al momento de la intervención.

### 3.2.2 Cantidad de individuos leñosos

La totalidad de las parcelas de exposición sur que se muestrearon presentaron un total de 206 cepas, las que a su vez contenían un total de 519 vástagos. De este total, el 11,6 % de los individuos son clasificados como monofustales (23 cepas). Las especies con mayor presencia de individuos monofustales son *Cryptocarya alba*, *Lithraea caustica* y *Peumus boldus*

En las parcelas de exposición norte, se muestrearon un total de 142 cepas, las cuales contenían un total de 314 vástagos. De este total, el 2,8% de individuos son clasificados monofustales (4 cepas). La especie con mayor presencia de individuos monofustales es *Lithraea caustica*.

**Cuadro 7:** Cantidad de individuos monofustales de la zona de estudio desplegada en la exposición sur y norte

Especie	Cantidad cepas Monofustales	
	Exposición Sur	Exposición Norte
<i>Quillaja saponaria</i>	2	2
<i>Cryptocarya alba</i>	11	0
<i>Lithraea caustica</i>	3	1
<i>Peumus boldus</i>	3	0
<i>Colliguaja odorifera</i>	0	1
<i>Echinopsis chiloensis</i>	0	0
<i>Acacia caven</i>	1	0
<i>Proustia pyrifolia</i>	0	0
<i>Kageneckia oblonga</i>	0	0
<i>Berberis chilensis</i>	1	0
<i>Eupatorium salvium</i>	1	0
<i>Ephedra chilensis</i>	0	0
<i>Retanilla trinervia</i>	1	0
<i>Sophora macrocarpa</i>	0	0
<i>Azara dentata</i>	0	0
Total	23	4

El total de las parcelas de exposición sur presentaron el 88,8 % de individuos multifustales (183 cepas). Las especies con más cantidad de individuos multifustales son *Peumus boldus*, *Lithraea caustica*, *Colliguaja odorifera*. Mientras que exposición norte presentó el 97,3% de individuos multifustales (138 cepas). Las especies que más cantidad de individuos multifustales presentan son *Colliguaja odorifera*, *Lithraea caustica*.

**Cuadro 8:** Cantidad de individuos multifustal de la zona de estudio desplegada en la exposición sur y norte.

Especie	Cantidad Multifustal	
	Sur	Norte
<i>Quillaja saponaria</i>	7	8
<i>Cryptocarya alba</i>	39	8
<i>Lithraea caustica</i>	34	31
<i>Peumus boldus</i>	40	8
<i>Colliguaja odorifera</i>	29	42
<i>Echinopsis chiloensis</i>	4	5
<i>Acacia caven</i>	3	6
<i>Proustia pyrifolia</i>	3	1
<i>Kageneckia oblonga</i>	0	3
<i>Berberis chilensis</i>	3	0
<i>Eupatorium salvium</i>	12	2
<i>Ephedra chilensis</i>	0	1
<i>Retanilla trinervia</i>	8	19
<i>Sophora macrocarpa</i>	0	4
<i>Azara dentata</i>	1	0
Total	183	138

Los cuadros mencionados con anterioridad indican una clara tendencia del bosque a presentar más de un vástago por cepa, siendo muy baja la cantidad de individuos que poseen solo un fuste en su desarrollo. Sin embargo, en zonas de exposición sur hay una mayor cantidad de individuos los que además tiene una tendencia a ser más monofustales en comparación a zonas más secas como de exposición norte, lo cual tiene relación con lo descrito por Cruz *et al* (2016), que indica que los lugares con mayor cantidad de individuos con más de un vástago por cepa indica un mayor grado de degradación del ecosistema, como también puede ser producto de la presencia del ganado años anteriores, o el hábito de las especies que se encontraban desarrollando en la exposición norte, mayoritariamente *Colliguaja odorifera*, *Retanilla trinervia* y *Lithraea caustica* en sector. Los resultados obtenidos se relacionan con lo descrito por Luebert y Pliscoff (2006), quien indica que en laderas de exposición norte se encuentra presentada por matorrales de *Colliguaja odorifera* asociado a individuos de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*.

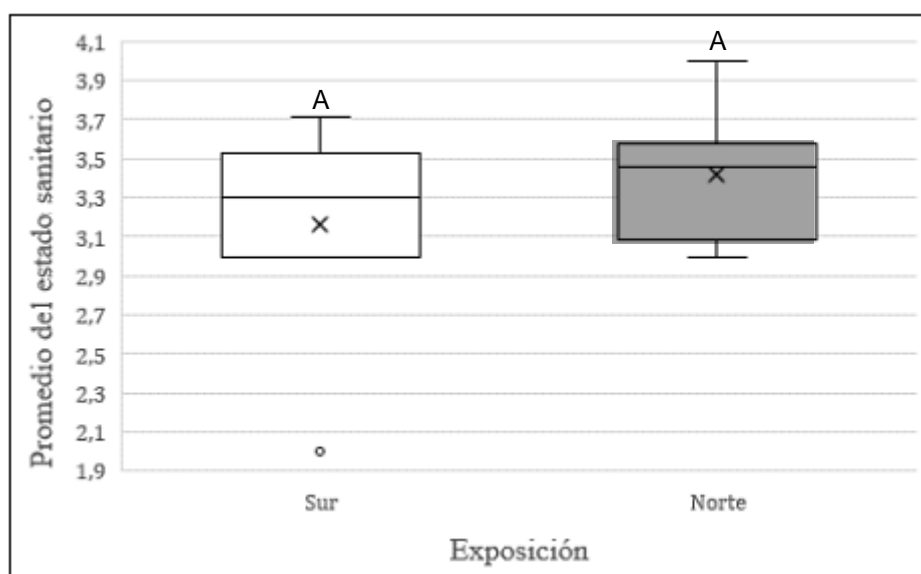
Para determinar el estado sanitario, el área basal y el volumen que presentan las especies según la exposición, se utilizó únicamente individuos arbóreos como *L. caustica*, *Q. saponaria*, *P. boldus*, *C. alba* y *A. caven*, cuando estos presentaban un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a cinco centímetros. Dicho lo anterior, se consideraron 116 cepas en exposición sur, 317

vástagos y 52 cepas en exposición norte, 179 vástagos. Es decir, del total de cepas muestreadas en ambas exposiciones, solo el 56,3% de la exposición sur y el 36,6% de la exposición norte cumplían con lo mencionado con anterioridad. La exposición sur presenta más individuos arbóreos, en comparación con la exposición norte. Información que, extrapolado a la hectárea, muestra que la exposición sur presenta un total de 955 cepas/hectárea, mientras que la exposición norte presenta 277 cepas/hectárea.

### 3.2.3 Estado Sanitario

#### Estado sanitario según exposición

El estado sanitario de cada zona de estudio se obtuvo al categorizar cada vástago de las cepas según el porcentaje de defoliación que presentaba, según lo indicado en el cuadro 1. A Continuación (Figura 7), se presenta el promedio del estado sanitario de los vástagos según exposición.

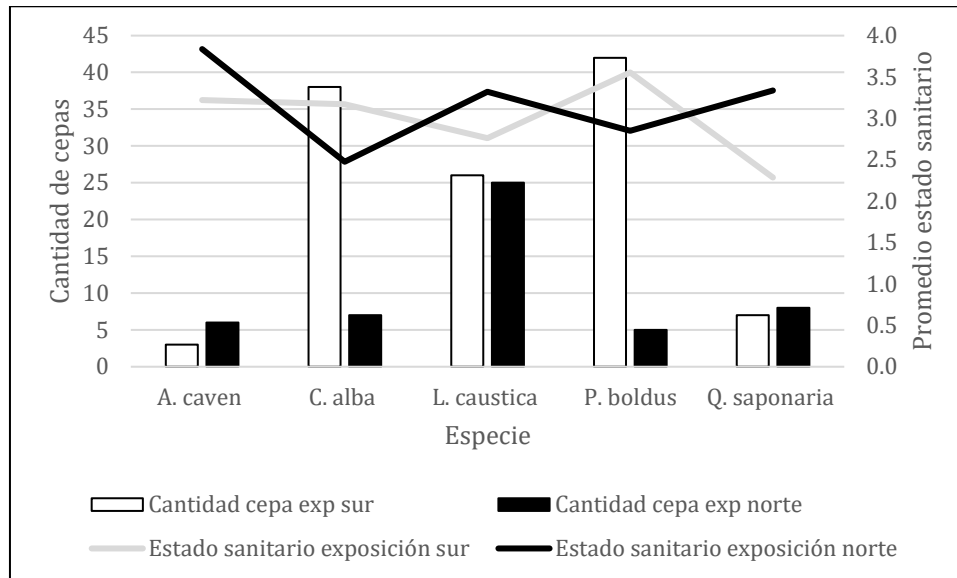


**Figura 6:** Promedio del estado sanitario de los vástagos presentes en cada exposición. No defoliado = 0. Ligeramente defoliado = 1. Moderadamente defoliado = 2. Gravemente defoliado = 3. Seco = 4. Datos colectados en septiembre del 2021.

Se esperaba que la presencia de materia orgánica propiciará la retención de agua en el suelo, ya que la presencia de esta provoca una mayor humedad del suelo disponible, siendo este un factor más importante que el hecho de recibir menos radiación solar (Miranda, A. *et al.* 2020). Sin embargo, se puede observar, que las parcelas que se encuentran en exposición sur presentan clasificaciones similares respecto a las parcelas de exposición sur. Esto se podría explicar en base a que los procesos adaptativos de las especies no responden de buena forma y/o que las especies que se encuentran en las parcelas de exposición sur ya llegaron al umbral de resistencia respecto a la notoria reducción de las precipitaciones (Rojas, 2019). No existe diferencia significativa respecto al estado sanitario de las parcelas de exposición sur, con las de exposición norte, dado los resultados del p-valor  $> 0,05$ . Lo anterior puede atribuirse a la cantidad de parcelas utilizadas (Balzarini, *et al* 2008), siendo tres por situación un número muy bajo.

## Estado sanitario de las cepas de cada especie según su exposición

La Figura 7 presenta, la cantidad de especies arbóreas de las exposiciones y el grado de defoliación que se clasificó para cada cepa. Para realizar este análisis, se utilizó el promedio del estado sanitario cuando la cepa presentaba más de un vástago.



**Figura 7:** Cantidad de cepas de cada especie y el promedio del estado sanitario por especie y exposición. No defoliado = 0. Ligeramente defoliado = 1. Moderadamente defoliado = 2. Gravemente defoliado = 3. Seco = 4. Datos colectados en septiembre 2021

Se observa que *Peumus boldus* es la especie que presenta mayor grado de defoliación de sus vástagos en comparación con las otras especies de la exposición sur. Donoso *et al.* (2017) indica que cuando la especie se encuentra en períodos de déficit hídrico realiza ajuste osmótico, siendo esta una de las adaptaciones que posee para enfrentar escenarios de estrés hídrico, además de que no modifica la relación aérea/parte radical como si lo hace, por ejemplo, *Q. saponaria*. Es decir, *P. boldus* induce la acumulación de sustancias dentro de las células, con la finalidad de que el potencial hídrico de estas sea más negativo en relación con el entorno, favoreciendo de esta forma la entrada de agua (Chimenti, C. s.a).

El estado sanitario de *A. caven*, se encuentra en valores altos, sin embargo, solo hay 6 individuos encontrados en la exposición norte, por lo que no es tan representativo en comparación a los 25 individuos de *L. caustica*. *Lithraea caustica* es la especie que presenta mayor grado de defoliación en comparación con las otras especies de la exposición norte. Una de las adaptaciones que presenta *L. caustica* frente a la reducción de agua disponible es la realización de ajuste osmótico, manteniendo de esta forma el turgor celular, además de la reducción de su biomasa foliar, modificando su relación parte aérea/ parte radical (Guajardo, A. 2010), es decir, las acciones van a aumentar su parte radicular en busca de agua.

Dado lo descrito con anterioridad, se puede inferir que *P. boldus* se encuentra en un estado de mayor defoliación respecto a su estado sanitario en comparación con *L. caustica*, ya que el primero no presenta ajustes respecto a su área foliar para enfrentar el cambio climático, por lo que podríamos estar frente a un escenario de mayor amenaza para *P. boldus*.

### 3.2.3 Volumen y Área Basal

#### Volumen y área basal según exposición

En la exposición sur la especie *Cryptocarya alba* (Molina) Looser, es la que presenta mayor volumen y área basal con 5,0 m<sup>3</sup>/parcela y 1,3 m<sup>2</sup>/parcela respectivamente, es decir es la especie que más se encuentra en zonas de exposición sur, relacionándose directamente con lo indicado por Luebert y Pliscoff (2006). La mayor cantidad de biomasa acumulada se encuentra en las clases diamétricas entre 5 y 10 centímetros de DAP (Marca de clase 2) y existe una reducida cantidad de árboles en las clases superiores. Cabe mencionar que gran parte de la proporción de *P. boldus* presenta grados de defoliación extremos, tal como muestra la Figura 7.

**Cuadro 9:** Volumen por especie presente en las parcelas de exposición sur.

Intervalo DAP (cm)	Marca de Clase	<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Lithraea caustica</i>	<i>Peumus boldus</i>	<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Acacia caven</i>	Total
0-5	1	0,01	0,06	0,02	0,02	0	0,11
5-10	2	0,82	0,59	1,28	0,09	0,03	2,81
10-15	3	0,91	0,1	0,67	0,1	0,09	1,87
15-20	4	0,19	0,06	0,26	0	0,2	0,71
20-25	5	0,19	0	0	0	0	0,19
25-30	6	0	0	0,02	0,2	0	0,22
30-35	7	0	0	0	0,17	0	0,17
35-40	8	0	0	0	0	0	0
40-45	9	0	0	0	0	0	0
45	10	2,83	0	0	0	0	2,83
Total		4,95	0,81	2,25	0,58	0,32	8,91

**Cuadro 10:** Área basal por especie presente en las parcelas de exposición sur.

Intervalo DAP (cm)	Marca de Clase	<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Lithraea caustica</i>	<i>Peumus boldus</i>	<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Acacia caven</i>	Total
0-5	1	0,003	0,017	0,007	0,002	0	0,029
5-10	2	0,229	0,136	0,547	0,021	0,011	0,944
10-15	3	0,336	0,106	0,345	0,03	0,028	0,845
15-20	4	0,136	0,059	0,125	0	0,067	0,387
20-25	5	0,039	0	0	0	0	0,039
25-30	6	0	0,055	0	0,057	0	0,112

30-35	7	0	0	0	0,077	0	0,077
45	10	0,591	0	0	0	0	0,591
Total		1,334	0,373	1,024	0,187	0,106	3,024

Por su parte la exposición norte, el representante arbóreo que entrega mayor cantidad de volumen y área basal es *Q. saponaria* con 1,3 m<sup>3</sup>/parcela y 0,50m<sup>2</sup>/parcela, siguiéndolo *Lithraea caustica* con 1,09 m<sup>3</sup>/parcela y 0,47m<sup>2</sup>/parcela, respectivamente. Es importante señalar que gran proporción de los individuos de *Q. saponaria* poseen alto grado de defoliación, tal como indica la Figura 7.

**Cuadro 11:** Volumen por especie presente en las parcelas de exposición norte.

Intervalo DAP (cm)	Marca de Clase	<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Lithraea caustica</i>	<i>Peumus boldus</i>	<i>Quillaja saponaria</i>	<i>Acacia caven</i>	Suma total
0-5	1	0	0,07	0,01	0	0	0,08
5-10	2	0,06	0,47	0,12	0,13	0,08	0,86
10-15	3	0,07	0,21	0	0,27	0,35	0,9
15-20	4	0	0,1	0	0,16	0,16	0,42
20-25	5	0	0,24	0,1	0,3	0,16	0,8
25-30	6	0	0	0,08	0,42	0	0,5
30-35	7	0	0	0	0	0	0
35-40	8	0	0	0,06	0	0	0,06
40-45	9	0	0	0	0	0	0
45	10	0	0	0	0	0	0
Suma Total		0,13	1,09	0,37	1,28	0,75	3,62

**Cuadro 12:** Área basal por especie presente en las parcelas de exposición norte.

Intervalo DAP (cm)	Marca de Clase	<i>Cryptocarya alba</i>	<i>Lithraea caustica</i>	<i>Peumus boldus</i> Molina	<i>Quillaja saponaria</i> (Molina)	<i>Acacia caven</i> (Molina)	Suma total
0-5	1	0	0,025	0,003	0,002	0	0,03
5-10	2	0,026	0,239	0,063	0,057	0,032	0,417
10-15	3	0,032	0,109	0	0,105	0,156	0,402
15-20	4	0	0,028	0	0,069	0,063	0,16
20-25	5	0	0,069	0,035	0,104	0,078	0,286
25-30	6	0	0	0,053	0,151	0	0,204
30-35	7	0	0	0	0	0	0
35-40	8	0	0	0,109	0	0	0,109
Suma Total		0,058	0,47	0,263	0,488	0,329	1,608

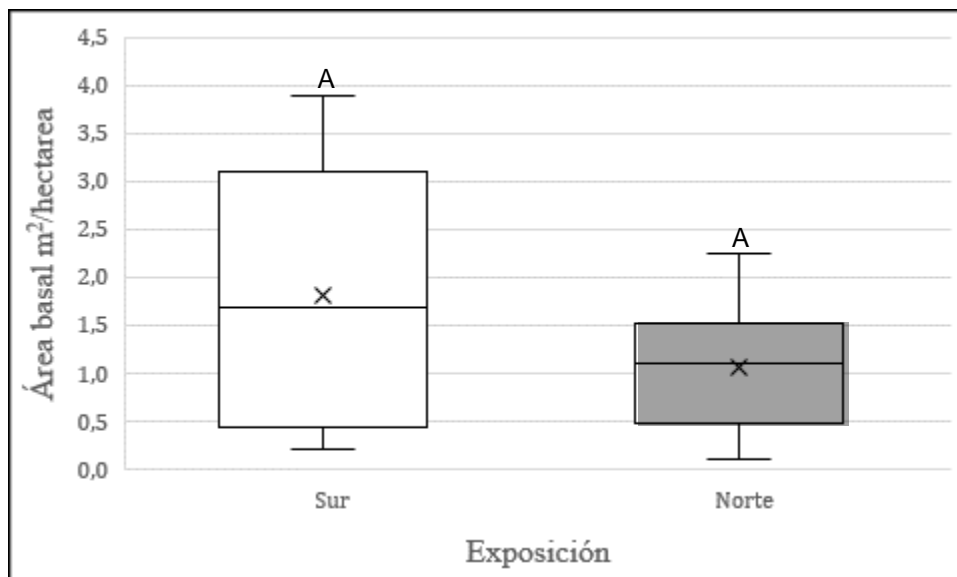
### Volumen y área basal por hectárea

Se unificaron los datos del área basal y volumen según exposición. Utilizando la fórmula,

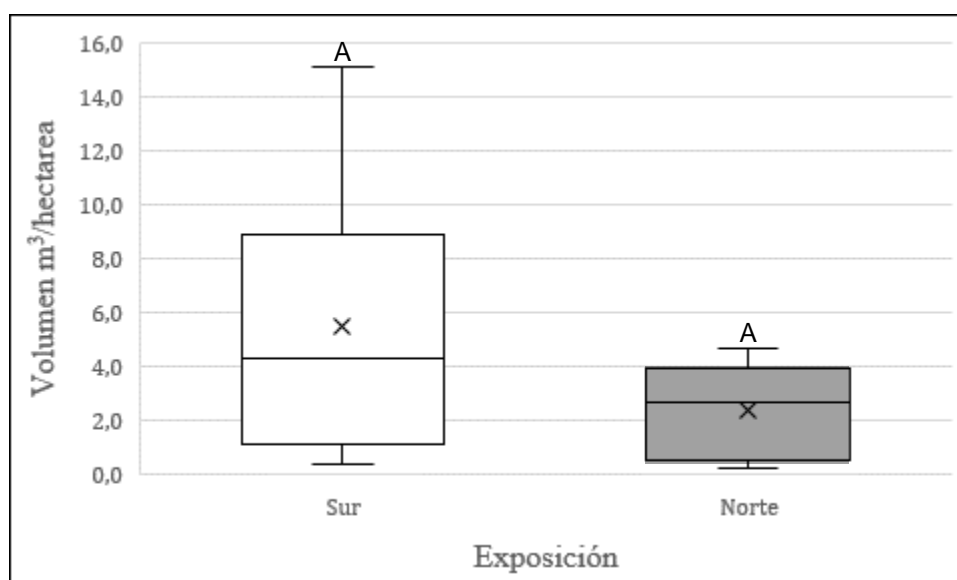


10.000/(área de la parcela\*repeticiones) (Peña-Rojas y Donoso. 2021), donde el área de las parcelas corresponde a 625 y se ejecutaron 3 repeticiones por exposición, se obtuvo que el factor de expansión es de 5,3 en cada ladera, ejercicio que tiene por finalidad obtener los resultados extrapolados a la hectárea.

La información obtenida indica que la exposición sur cuenta con mayor volumen y área basal, en comparación con las especies de la exposición norte. Una de las posibles razones corresponde a que la profundidad y desarrollo que presentan los suelos de exposición norte es menor en comparación con los de exposición sur (Donoso, 1981), ya que son lugares que tienden a presentar una menor calidad del bosque, por lo tanto, acumulan una menor cantidad de biomasa (Sancho *et al*, 2006). Algunas características que provocarían que la acumulación de biomasa sea menor puede ser producto de una reducida cobertura de copas, además de considerar la pendiente ya que si es pronunciada potencialmente puede generar un deslizamiento del material orgánico (Gayoso *et al*, 1999) o la compactación que presenta el lugar, pueden ser determinantes sobre la fertilidad de los suelos. Es importante tener en consideración que, en las zonas de exposición norte, se encontró una menor cantidad de individuos arbóreos en comparación con la exposición sur. La zona que presenta mayor exposición al sol se caracteriza por la alta presencia de arbustos como *C. Odorifera* y *R. Trinervis*.



**Figura 8:** Área basal por hectárea en ambas exposiciones.



**Figura 9:** Volumen por hectárea de ambas exposiciones.

Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre ambas exposiciones y se realizó adicionalmente el test no paramétrico de Kruskal Wallis y la prueba t de comparación de medias, los cuales confirmaron dicho resultado. Se propone realizar podas y obras de conservación de suelo-agua en ambas exposiciones considerando las condiciones topográficas de cada área. Los tratamientos silviculturales de podas diferirán en su intensidad dado que los resultados de los manejos como podas dependen de varios factores (Seguel, *et al.*, 2020), además de que la biodiversidad que presenta la zona puede o no influir en la respuesta del bosque (MacDuougall, *et al.*2013). Se recomienda realizar más unidades de muestreo para tener un mayor tamaño muestral y que los resultados sean concluyentes.

### 3.3 Caracterización del suelo

#### 3.3.1 Caracterización de laderas analizadas

La altitud promedio de las unidades cartográficamente homogéneas de la exposición sur es de 453 m.s.n.m. Presentan una pendiente media del 25% con una pedregosidad superficial moderada, se encuentra baja cantidad de piedras, solo que hay presencia de grandes afloramientos rocosos en partes de la zona de estudio. La profundidad de suelo en promedio es de 24,8 cm y la profundidad de hojarasca en promedio es de 3,5 cm. La altitud promedio de las unidades cartográficamente homogéneas de la exposición norte es de 484 m.s.n.m. Presentan una pendiente media del 22% con una pedregosidad superficial ligera-moderada. La profundidad de suelo en promedio es de 19,8 cm y la profundidad de hojarasca en promedio es de 0,7 cm demostrando la reducida cantidad de hojarasca que presenta el suelo.

**Cuadro 13:** Promedios de los datos obtenidos de los tres puntos de muestreo en cada parcela según su exposición

Exposición	Altitud	Pendiente media	Pedregosidad	Profundidad efectiva del suelo (cm)	Profundidad de hoja	Infiltración (cm/hr)
Sur	452,7	29%	moderada	24,8	3,5	4,6
Norte	484,0	22%	ligera-moderada	19,8	0,7	3,9

Lo mencionado en el cuadro anterior, nos indica que la diferencia más marcada entre las exposiciones corresponde a la profundidad de hojarasca y la profundidad del suelo que poseen. Esto puede ser explicado por la cantidad de individuos arbóreos que presenta cada una de las exposiciones, ya que, las laderas de exposición sur poseen mayor desarrollo del suelo (Miller et al, 1977. Rundel, 1977. Donoso, C. 1981) y por ende mayor profundidad de suelo en comparación con la exposición norte, manifestando de esta forma la vegetación que soporta la zona.

### 3.3.2 Infiltración del agua en el suelo

Si la precipitación de la zona es mayor a la tasa de infiltración del agua, se produce escurrimiento superficial del agua que no se infiltra, generando daños al terreno (Ministerio de Agricultura, 2011). Lo cual justificaría la ejecución de obras de conservación de suelo y agua. Se determinó que la textura del suelo en ambas exposiciones corresponde a franco arenosa, por lo que se utilizaron los siguientes datos.

**Cuadro 14:** Parámetros de Van Genuchten para la clase textural determinada en la Reserva Altos de Cantillana y los valores según tensión de suministro (Carsel y Parrish, 1988).

Textura	Alpha	n	Presión de suministro (nPa)		
			-1	-3	-6
Franco Arenoso	0,075	1,89	3,89	3,93	4

De acuerdo con los resultados obtenidos, y los datos recopilados de Venegas (2006), es posible inferir, que en la zona puede presentar una precipitación máxima instantánea de 7,3 cm/hr. Un estudio realizado por Magni *et al* (2015), describe la textura del suelo de la reserva a una profundidad de entre 4 a 8 centímetros de tipo franco con gravas, mientras que a una mayor profundidad domina la textura arcillosa. Lo anterior indica que puede que la infiltración del agua se vea disminuida centímetros más abajo de la primera capa de material, en el horizonte B.

**Cuadro 15:** Conductividad hidráulica saturada (Ksat) en las seis parcelas, con sus respectivas repeticiones y promedio entre estas.

Repeticion	Ksat (cm/hr)	
	Sur	Norte

	Parcela 2	Parcela 4	Parcela 6	Parcela 1	Parcela 3	Parcela 5
A	9,4	6,9	2,7	10,0	2,6	0,8
B	0,6	4,6	0,5	3,8	3,4	3,8
C	2,7	11,3	2,4	2,3	1,3	0,2
Promedio	4,2	7,6	1,9	5,4	2,4	1,6

Los datos obtenidos, generan un promedio de retención por exposición de 4,6 y 3,9 cm/hora en exposición sur y exposición norte respectivamente, siendo estos valores menores a lo que potencialmente puede precipitar en la zona. Por lo que, si precipita más de los valores indicados, habría escurrimiento superficial y transporte de sedimentos.

Es importante considerar que la precipitación anual se ha reducido durante los últimos años, sin embargo, otra de las razones por las que se proponen las obras de conservación de suelo y agua, es con el objetivo de retener por más tiempo la humedad del suelo (Hernández, *et al.* 2020). Por lo que las obras apuntan a retener el agua por más tiempo, más que evitar el escurrimiento superficial, dado que las precipitaciones son cada vez menos intensas y más espaciadas temporalmente.

### **3.4 Propuestas de manejo silvicultural y de conservación de suelo y agua**

Se sugiere considerar zonas testigos en ambas exposiciones, es decir, zonas donde no se realizará intervención alguna, de forma que sirvan de comparación respecto al área intervenida (Adis, G. S.a) y pueda servir como referencia respecto de la respuesta del bosque. Además, se propone la realización de marcaciones permanentes, ya sea con número o símbolos a todos los individuos leñosos, para que en los monitoreos posteriores se reduzca la posibilidad de errores al realizar los inventarios forestales.

#### **3.4.1 Silvicultura**

Los objetivos de la silvicultura que se sugieren en esta memoria de título responden a objetivos de conservación y preparación del bosque a nuevos escenarios climáticos, no a fines productivos. Dado lo anterior, se puede indicar que los objetivos silviculturales son llevar al bosque desde su estado actual a una estructura indefinida cercana a la natural (Vita, 2017), buscando aumentar la vitalidad y vigor de las especies leñosas, no buscando un equilibrio de clases diamétricas para obtener productividad maderera.

Los tratamientos silviculturales a realizar en la porción viva del bosque serán podas de restauración, las que se realizarán en los estratos arbóreos, buscando generar una disminución efectiva sobre el consumo de agua por parte de los individuos vegetales (Seguel, *et al.* 2020). En particular con la porción clasificada como gravemente defoliado se sugiere realizar intervenciones de un 10 y 30 % de su área basal, clasificándose como podas leves y moderadas

respectivamente. Se propone la extracción de la necromasa que se encuentre en cada área a intervenir, denominada podas/raleos sanitarios, esta actividad va dirigida a la porción clasificada como muerta o en proceso de descortezado, donde se plantea la extracción de hasta el 80% de los individuos que se observan descortezados y/o iniciándose en este proceso. No se desea extraer la totalidad de los individuos considerados muertos, ya que estos sirven como árboles percha para la fauna de la zona (González y Lemus. 2017).

Los tratamientos silviculturales de poda de recuperación, además de las podas y/o raleos sanitarios no varían en su intensidad según la exposición de la ladera. Estos tratamientos se proponen realizar a individuos arbóreos tales como *Cryptocarya alba*, *Lithraea caustica*, *Peumus boldus*, *Quillaja saponaria* y *Acacia caven*. Cabe señalar que no se realizarán intervenciones consideradas intensas, debido a que la realización de podas con altas intensidades afecta el crecimiento en forma permanente de las especies, en particular en zonas que presentan un menor déficit hídrico (Ojeda, H. 2018). El material extraído se utilizará en las obras de conservación de suelo y agua, por lo que no se consideran desechos.

Se propone la realización de parcelas cuadradas de mínimo una hectárea para su ejecución. Es importante mencionar, que estos tratamientos se pueden realizar de igual forma a estratos arbustivos, dirigido a las especies *R. trinervis* o *C. odorífera*. La información descrita corresponde a una guía general sobre la actividad, la cantidad a extraer dependerá de las condiciones locales y las características que posea la vegetación en las áreas seleccionadas para intervenir. Se espera que al realizar raleos/podas selectivas se dejen los individuos que presenten un mejor estado sanitario y presenten potencial de regeneración vegetativa y sexual (Cruz, *et al.* 2018), ya que provocará un mejoramiento del estado sanitario del bosque.

Antes de la ejecución de cualquier actividad, se propone que se realice un monitoreo en las zonas seleccionadas para el tratamiento. Además de la utilización de imágenes satelitales para la rodalización de cada una de las parcelas antes de la visita a terreno para definir con anterioridad y nombrar las distintas formaciones a visitar.

Respecto a las cuadrillas que realizarán los monitoreos previos a la intervención. Deben de realizar una parcela por exposición en conjunto, para identificar y tener criterios estandarizados tanto de las especies que se encontraran, como también los aspectos cualitativos, como la clasificación del estado sanitario y la pedregosidad superficial. Lo sugerido anteriormente es una observación solo si hay más de una cuadrilla ejecutando de forma paralela el monitoreo, al contrario, si se determina que se requerirá sólo una cuadrilla, se puede omitir el comentario.

A continuación, se describe la información a coleccionar en el monitoreo previo a la intervención.

-Listados florísticos, del total de árboles y arbustos de toda la extensión de la parcela, identificando nombre, familia y su categoría de conservación.

-Inventarios forestales, del total de árboles y arbustos para obtener área basal, volumen, altura, la cobertura por estrato, el estado sanitario de los individuos, la coloración de su follaje según lo descrito en el Cuadro 23 y su estado fenológico según lo descrito en el Anexo I.

-Listado florístico de las herbáceas, se propone muestrear mínimo tres puntos representativos al interior de la parcela. Dicho muestreo se realizará en una superficie de  $1\text{m}^2$  cada una, ubicado en los puntos más representativos de esta. Dentro de los cuadrantes se propone determinar la riqueza, la altura promedio del estrato, la cobertura por especie según la escala de abundancia de Brown-Blanquet (anexo II), su origen y forma de vida (Apéndice I). Se propone utilizar subdivisiones dentro de cada cuadrante, 36 en total, obteniendo el 3% de cobertura dentro de cada cuadrante (Ferrá, 2021).



**Figura 10:** Cuadrantes para muestreo de herbáceas de  $1\text{m}^2$  (ancho y largo) con las 36 subdivisiones mencionadas.

Fuente: Ferrá, B. 2021.

Es importante mencionar, que se propone un sistema de marcación eficiente para las especies leñosas en el inventario forestal, ya sea con números o símbolos con el objetivo que en las posteriores mediciones no exista error al identificar a los individuos. Mientras que, para las especies herbáceas, se espera que la zona donde se realicen las mediciones puntuales sea siempre la mismas, es decir, el cuadrado debe quedar demarcado con algún hito para utilizar siempre el mismo sector para observar y apreciar los cambios. Los formularios propuestos a utilizar se encuentran en apéndices.

Respecto a la calificación y descripción del estado sanitario de los individuos, se propone utilizar la misma clasificación descrita en el cuadro 3, con la observación de que se agregue una clasificación más a las ya existentes (del 0 al 4). La clasificación 5, corresponde a árboles que se observan descortezados o con indicios de este proceso. Esta observación permite tener indicadores de la mortalidad efectiva del bosque.

Los siguientes criterios son para definir qué vástagos se quedan, se obtuvieron de Cruz *et al* (2018):

- Visualmente sanos y vitales.
- Se encuentren idealmente lo más separados posible dentro de la misma cepa.
- Idealmente se dejarán las ramas que aportan considerablemente con su cobertura a la protección del suelo, evitando de esta forma aumentar el grado de erosión ya sea por viento o precipitación.
- Se desea no perjudicar la biodiversidad del área, por lo que las especies menos frecuentes en la zona serán tratadas con mayor cuidado y preocupación, buscando no dañarlas.
- Se desea mantener la proporción de especies en cada parcela.
- El corte se debe realizar bajo los 1,5 metros.

Respecto a las cuadrillas que efectúan el tratamiento, serán capacitadas con los criterios silviculturales definidos, para que estos puedan ser aplicados. Se espera que el motoserrista sea acompañado de un colaborador, además que cada cuadrilla idealmente tenga un experto en botánica, y que cada persona posea las competencias y capacitaciones necesarias para comprender el objetivo final del proyecto y acompañe en el proceso.

Respecto a la condición existente en las zonas cercanas a “El Patagual” es considerado favorable la presencia del cerco de exclusión ya que esto permite que animales como caballos, vacas, no ingresen al área y se reduzca de esta forma el riesgo potencial de la vegetación. Mientras que las zonas que se encuentran en las cercanías de “El Gallo” tendrán influencia de presencia de ganado. Por lo que se potencialmente se podría evaluar el posible efecto del ganado en el sector.

Pasado un periodo de años y/o al observarse en los monitoreos posteriores, una gran cantidad de retoños se sugiere la realización de clareos, con el objetivo de disminuir la densidad de los retoños dentro de una misma cepa (Vita, 2017) potenciando así, a los vástagos más vigorosos.

### **3.4.2 Conservación de suelo y agua**

La realización de obras de conservación de suelo y agua favorecen el aumento en la retención del agua y a su vez el contenido de humedad en el suelo (Ministerio de Agricultura, 2011). Estudios realizados en Coquimbo demostraron que el periodo de humedad se prolonga a cuatro meses al existir obras de conservación de suelo y agua, además de reducir la densidad aparente del suelo, ayudando de esta forma a la elongación de las raíces ya que se reduce la compactación (Hernández, *et al.* 2020). De esta forma, la respuesta de las plantas que se encuentran cerca de las obras va mejorando producto de los cambios que generan al ambiente donde se desarrollan las especies vegetales (Taboada y Álvarez, 2008).

Para la ejecución de las obras de conservación, se propone la utilización del material obtenido en las podas. Las ramas se utilizarán para el mulch, relleno de algunas zanjas de infiltración y para la construcción de fajinas. Como se mencionó previamente, las obras se realizarán en ambas laderas, en la misma cantidad tanto en exposición sur y norte, considerando siempre la condición topográfica en la que se desarrolla, por lo que no necesariamente será la misma cantidad en cada exposición.

Antes de la realización de las obras de suelo-agua y de igual forma que con la medición previa a la intervención de la vegetación, se propone realizar mediciones respecto al estado del suelo, datos que buscan identificar la densidad aparente del suelo, la velocidad de infiltración del agua en el suelo, la relación carbono/nitrógeno del suelo e idealmente el porcentaje de humedad del suelo. Se sugiere realizar en mínimo tres zonas representativas dentro de cada parcela las tres obras mencionadas, con la finalidad de comparar estos valores antes de la intervención y su evolución en el tiempo. Se plantea realizar una vez cada tres años las mediciones mediante la toma de muestras de suelo y la utilización del minidisco infiltrómetro, para posteriormente realizar el estudio en laboratorio para identificar los valores.

A continuación, se proponen las obras de conservación de suelo y agua a realizar.

El mulch, corresponde a una capa de materia orgánica, la cual tiene como objetivo aumentar la cubierta vegetal del suelo, para reducir la erosión hídrica y eólica, aumentar la infiltración de la lluvia, reducir la pérdida de humedad por evaporación, mantener la temperatura oscilando en rangos reducidos, mejorar las condiciones de germinación de las semillas y darle mayor estabilidad estructural del suelo (Secretaría del agua y obra pública, 2009). Donoso (1994) señala que además la presencia de mayor materia orgánica contribuye a reducir los valores de la densidad aparente y facilitar la granulación de los suelos. Se propone la aplicación de mulch, obtenido desde las ramas extraídas de la poda. Se tiene dos opciones para chipear el material extraído, ya sea con la chipeadora que posee la reserva marca Bear Cat modelo CH922DH, la cual tiene motor de 50 HP, con cuatro cuchillas cortantes las que producen en promedio 22 metros cúbicos de astillas por hora o, en su defecto, aplastando las ramas con las ruedas de vehículos, el cual se debe acercar a la zona de intervención.

Las zanjas de infiltración corresponden a una construcción realizada de manera transversal al cerro para que almacene el agua que escurre, siendo los sectores con pendientes de un 25% óptimas para su implementación (Labra, *et al.* 2018). Tiene como objetivo aumentar la infiltración de mayor cantidad de agua en el suelo, por medio de la excavación de este, para aumentar el contenido de humedad (Ministerio agricultura. 2011) y por consiguiente mayor disponibilidad hídrica para los vegetales que crecen en las cercanías. Se recomienda la existencia de arbustos o herbáceas perennes para la parte a mayor altura de la zanja y árboles nativos en la parte inferior (Ministerio de Agricultura, 2011). Se menciona que la intención de esta observación es generar que las raíces retengan el suelo, evitando de esta forma que el terreno se desmorone, mientras que los árboles en la parte bajan crean una cubierta vegetal más amplia (Ministerio de Agricultura, 2011) para la protección del suelo. Se propone colocarlas en la parte superior e inferior de los bosquetes, dado que estos presentan gran cantidad de individuos, con la finalidad de aportar mayor humedad a las interacciones que ocurren. Se propone utilizar los desechos de la silvicultura para rellenar las zanjas de infiltración con estos residuos, otorgando además de la posibilidad de infiltrar agua, retenerla en los compuestos orgánicos colectados y almacenados en el agujero. Se propone realizar un máximo de 5 zanjas en cada curva de nivel, las cuales tendrán un largo entre 5 y 6 metros, con 0,4 metros de alto, las cuales se encontrarán espaciadas por 0,7 metros entre ellas (Labra, *et al.* 2018) mientras que el ancho que se propone es de 0,5 metros.



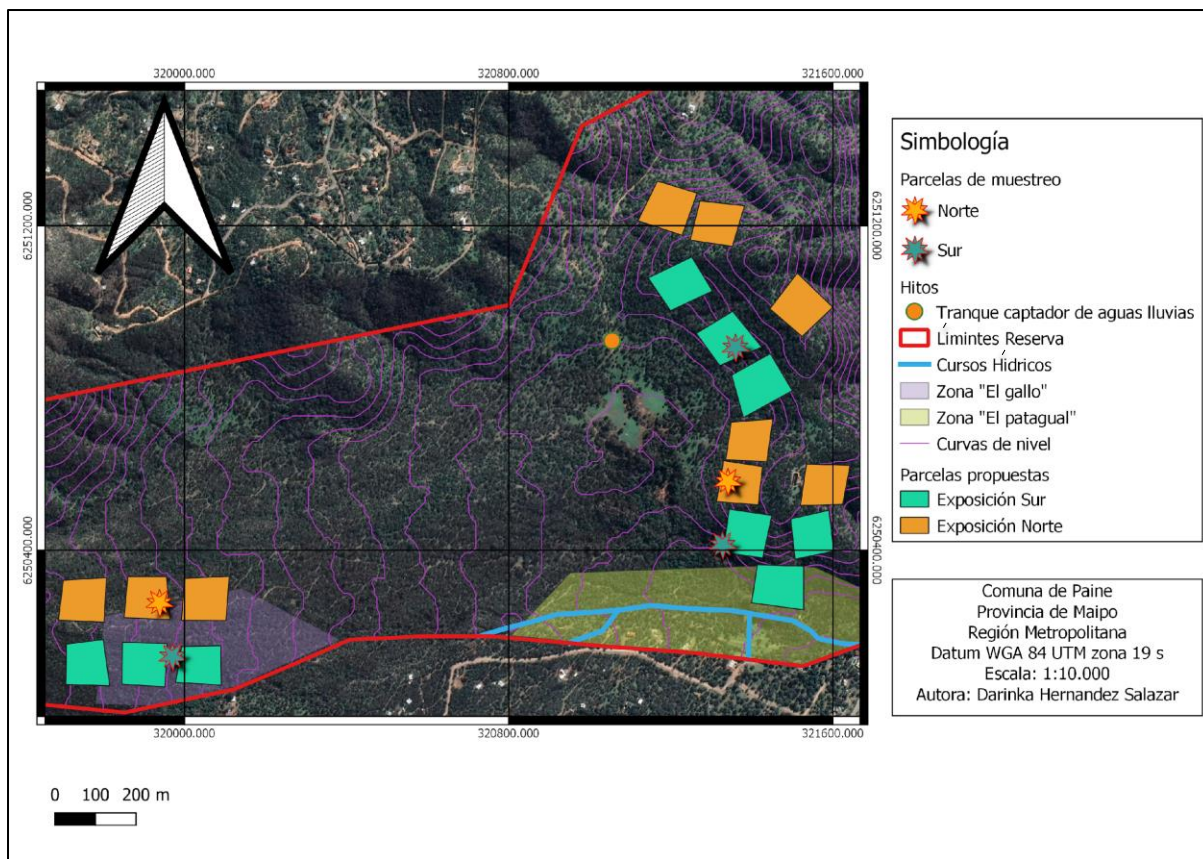
Las fajinas corresponden al conjunto de ramillas atadas con alambres a estacas de aproximadamente 50 centímetros que la sostienen en el terreno (González y Lemus. 2017). Tienen por objetivo proteger el arrastre de material por la ladera, favorecer la acumulación de sedimentos y disminuir la velocidad de escorrentía (Labra, *et al.* 2018), recuperando de esta forma zonas erosionadas y proteger potenciales cursos de aguas (Valdebenito, *et al.* 2020). Se propone realizar fajinas de un máximo hasta 1,5 metros de ancho y un alto de entre 0,2 a 0,3 metros, con un distanciamiento entre ellas de 3 metros. Lo que generaría un máximo de hasta 6 fajinas en cada curva de nivel.

Las tres intervenciones mencionadas se proponen realizar tanto a los sectores de exposición norte como sur.

Posterior a la realización de las obras se recomienda revisiones y mantenimiento constante de las zanjas con mulch como también a las fajinas, considerando además un aumento de estas observaciones en periodos de precipitación (Ministerio de Agricultura, 2011).

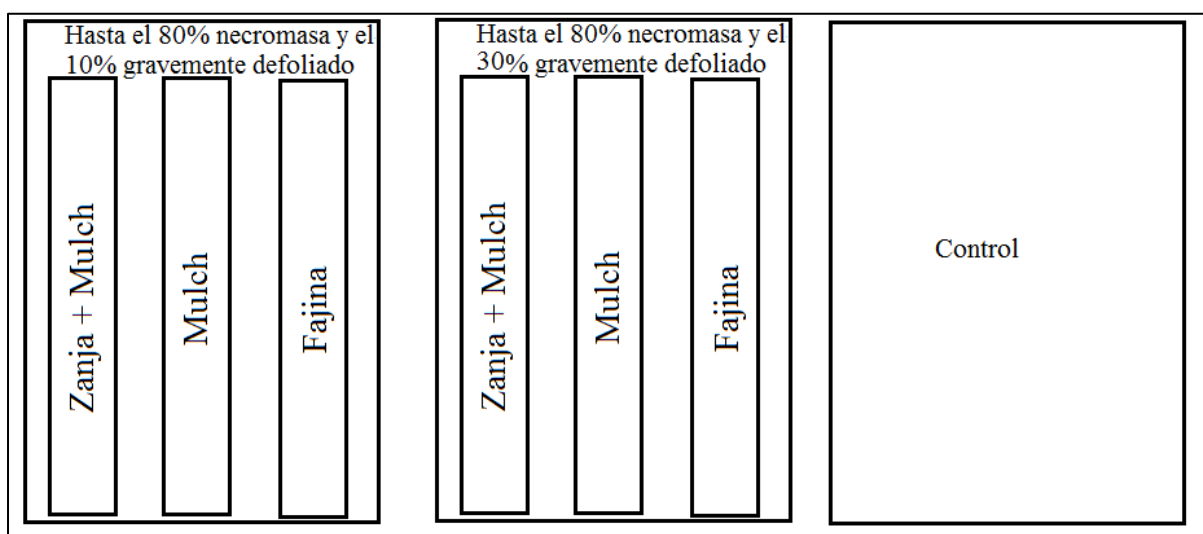
A modo de resumen de las propuestas, se plantea realizar dos intensidades de podas de restauración a la porción clasificada como gravemente defoliada, las intensidades de estas son al 10% del área basal determinada como pocas leve y podas moderadas al 30% del área basal. Se considera también la extracción de hasta un 80% de lo clasificado como necromasa, actividad definida como poda/raleo sanitario. Además de las tres obras de conservación de suelo-agua, mulch, zanjas con mulch y fajinas en cada tratamiento. Cada obra de conservación se realizará en parcelas que tengan tanto podas leves, como moderadas., generando un total de 2 combinaciones por exposición (Figura 13).

La siguiente figura muestra las zonas propuestas para realizar las obras de conservación



**Figura 11:** Ubicación de las 18 parcelas propuestas para la realización de los tratamientos silviculturales y las obras de conservación de suelo y agua.

A continuación, se presenta un esquema de las propuestas planteadas



**Figura 12:** Tratamientos silviculturales y obras de conservación de suelo y agua propuestas para realizar en zonas de exposición sur y exposición norte.

### **3.5 Monitoreo**

El monitoreo busca responder la pregunta, ¿cómo evolucionaron las áreas donde se realizaron las actividades, en comparación con el área control?, (Hernández, 2000).

#### **3.5.1 Monitoreo de la efectividad del tratamiento silvicultural**

##### **Respuesta de los tratamientos sobre la flora**

La información obtenida de los listados florísticos tanto el realizado en este proyecto, como el que se sugiere realizar antes de la aplicación de las intervenciones permiten identificar en años futuros si las zonas presentan signos de degradación, ya que si comienzan a disminuir el número de especies es un efecto correspondiente a la degradación de los bosques (Donoso. 1981).

Hernández (2000) indica que se realice un listado florístico de la totalidad de individuos, no solamente leñosos como se realizó para esta propuesta, definiendo su nombre, familia y estado de conservación, pudiendo agregar más información con la única observación de que la información colectada sea siempre compatible y complementaria con la metodología inicial. Se sugiere que la frecuencia de esta medición sea una vez cada año entre los meses de agosto a octubre, además de realizarse una vez después de ocurrido un episodio de abundante lluvia, dado que la humedad genera condiciones favorables para las herbáceas de zonas áridas en el país (Jara, *et al.* 2006), lo anterior está dado por que una respuesta de algunas plantas anuales, presentan gran desarrollo en temporadas lluviosas (Vita, 2017).

El listado florístico leñoso se espera realice en toda la unidad inventariada, mientras que el listado florístico de las herbáceas se propone realizar en subunidades dentro de la parcela, donde idealmente sea mismo lugar donde se realizó la medición posterior a la intervención. Se espera la utilización de los mismos formularios para el monitoreo antes de la ejecución del proyecto. Con la información de las especies de las parcelas, se plantea la realización de tablas de presencia/ausencia de especies en la zona, si bien, corresponde a una variable que no avisa de manera oportuna si una especie está reduciendo, lo que quiere decir, es que esta variable identifica la presencia o ausencia de las especies, pudiendo apreciarse de un momento a otro alguna especie ya no esté presente y posiblemente nos encontremos frente a un episodio de extinción (Estades, 2021) o en su defecto se identifique la presencia de nuevas especies y nos enfrentemos al ingreso de plantas invasoras al terreno.

##### **Respuesta de los tratamientos sobre el crecimiento y condición sanitaria de la vegetación**

Se propone una revisión mediante la utilización de imágenes satelitales a una escala de 1:2.500 en las áreas donde se implementará el tratamiento y área control una vez al mes por un periodo de 4 años.

Se sugiere realizar inventarios forestales a todas las parcelas, entre los meses septiembre-noviembre, separado temporalmente cada dos años, es decir, se propone medir, especies, altura, DAP, número de vástagos por cepa, cobertura por estrato, estado sanitario según el formulario propuesto en apéndice de individuos/cepas leñosas y una clasificación respecto al color de su follaje, si este es verde o no. Se plantea realizar análisis y comparación respecto a la densidad, área basal y volumen inicial (Cruz *et al.* 2018). Las mediciones se recomiendan medir hasta un periodo indefinido de tiempo desde que se realizaron los tratamientos. Se sugiere conocer la fenología de las especies arbóreas, como el porcentaje de individuos en floración y/o con presencia de frutos, dado que para algunas especies la reducción de la disponibilidad hídrica reduce la fecundidad y limita la germinación de semillas, además de aumentar la mortalidad de las plántulas que presentan raíces superficiales (Clarck, *et al.*, 2016) identificando de esta forma si aumenta o no la frecuencia de este fenómeno en el periodo de tiempo. Se propone la utilización del protocolo para la realización de estudios fenológicos para las especies de interés (Grez, 2021)

El reclutamiento de los individuos, es decir, quienes llegan a sobrevivir una temporada estival también es considerado un indicador, por lo que se plantea evaluarlo durante los meses de abril-mayo. Se recomienda utilizar el formulario disponible en apéndice, colectando datos como la especie, el diámetro a la altura del cuello, la altura, cantidad de vástagos y el origen de este, es decir, si es vegetativo o por semilla.

Se plantea monitorear la cobertura del suelo. Lo anterior se propone medir con escalas de cobertura como Braun-Blanquet por especie y la cobertura generalizada (apéndice II). Se sugiere monitorear si se incrementa la cobertura de las especies herbáceas, arbustivas nativas en el mismo espacio determinado.

### **3.5.2 Monitoreo de la efectividad de las obras de conservación de suelo y agua**

#### **Respuesta del suelo**

Se propone la realización estudios edafoclimático y modelación hidrológica MODIPE, para conocer la escorrentía superficial y un estudio de escorrentía, lo cual permite plantear obras complementarias que permitan la reparación del impacto generado (González y Lemus, 2017). Los mismos autores recomiendan dimensionar las obras de conservación de suelo y agua en un periodo de retorno de 10 años dado la variabilidad de las precipitaciones.

Se medirán las propiedades físicas como la densidad aparente y las propiedades químicas como la proporción Carbono/Nitrógeno, (Hernández, *et al.* 2020) por medio de muestras de suelo llevadas a laboratorio, se propone realizar este análisis al instalar las obras y transcurrido tres años de la aplicación de las obras. Otra variable que se desea monitorear es la humedad del suelo, la cual se propone medir ya sea por aparatos que entregan medición puntual de esta

variable o con el método gravimétrico, el cual consiste en la extracción de una muestra de suelo con volumen conocido, la cual es pesada al momento de sacarla en terreno. Luego se deja secar a 105°C por 24 horas, para posteriormente volver a pesarlo. Se utiliza la siguiente fórmula para identificar el contenido de humedad:

$$W = M_w/M_s$$

Donde:

W es el contenido de humedad en el suelo (gm/gm)

M<sub>w</sub> corresponde a la masa de agua en la muestra de suelo (gm)

M<sub>s</sub> corresponde a la masa de la muestra seca del suelo, después de pasar las 24 horas en el horno /gm)

La infiltración del agua en el suelo se sugiere medir de igual forma como se realizó en este proyecto con el minidisco infiltrómetro, utilizando tres tensiones distintas (-1, -3 y -6). Tanto las propiedades físicas como químicas del suelo se sugiere que se evalúen en tres zonas dentro de cada parcela, en lugares representativos dentro de esta y/o cercana a las obras de conservación de suelo-agua, para identificar los beneficio o desventajas que produjo la intervención.

### **3.5.3 Retroalimentación y correcciones**

Se debe conocer si es eficaz las actividades a realizar, por lo que esto se conoce al analizar en un periodo de tiempo y ver si los resultados obtenidos a nivel experimental tienen o no respuestas significativas respecto al bosque testigo, que no fue intervenido, con la finalidad de que la información obtenida sirva para manejar superficies mayores en comparación con la superficie propuesta.

## 4. CONCLUSIONES

La mega sequía que enfrenta la zona central del país ha generado un deterioro en el estado sanitario del bosque, pardeamiento, amenazando a la sobrevivencia de la diversidad arbórea, escenario que se pronostica que será cada vez más severo, por lo tanto, se requiere evaluar acciones activas que pretendan disminuir el efecto que el cambio climático tiene sobre los bosques.

Respecto a la caracterización de las formaciones boscosas se puede indicar que las especies arbóreas *C. alba*, *L. caustica*, *P. boldus*, *Q. saponaria* y *A. caven*, son las más abundantes. En general, estas especies presentan más de un vástago por cepa, probablemente debido a su historial de uso y se encuentran clasificadas como gravemente defoliadas o secas sobre su estado sanitario. La afectación se produce indistintamente en laderas de exposición norte como exposición sur. La exposición sur presenta una mayor cantidad de especies leñosas en comparación con la exposición norte, sin embargo, esta última presenta una mayor cantidad de vástagos e individuos clasificados en estratos arbustivos. Respecto a los volúmenes y área basal que presentan ambas exposiciones, la ladera expuesta al sur, presenta valores medios de 43,7 m<sup>3</sup>/ha 14,5 m<sup>2</sup>/ha en comparación con la exposición norte que presenta 19,2 m<sup>3</sup>/ha y 8,6 m<sup>2</sup>/ha, respectivamente, sin embargo, según los análisis estadísticos realizados, las diferencias no logran ser significativamente diferentes, aun cuando la observación de terreno corrobora las diferencias obtenidas. Sobre el componente suelo, las exposiciones sur tienden a tener mayor contenido de materia orgánica y profundidad de suelo en comparación con las laderas más áridas.

Se propone evaluar el efecto sobre el bosque de la realización de podas con dos niveles de intensidad, leve 10% del área basal y moderada 30% del área basal a lo clasificado como gravemente defoliado. Lo anterior tiene el propósito de disminuir la superficie transpirante y conservar el agua del bosque. Además, se plantea la realización de podas/raleos sanitarios para extraer hasta un 80% de la necromasa en pie. Respecto a las obras de conservación de suelo y agua se propone aumentar la acumulación y retención de agua del suelo mediante el uso de los desechos obtenidos de la silvicultura para: coberturas de suelo (mulch), zanjas de infiltración llenas con residuos orgánicos y construcción de fajinas.

Respecto al monitoreo, se propone que tenga relación con lo que se cree que modificara luego de la realización de las propuestas mencionadas. Como lo es la respuesta del bosque sobre la flora, su estructura, condición sanitaria, fenología y reclutamiento. Además, se debe identificar algún cambio en las condiciones del suelo, respecto a humedad, densidad aparente, velocidad de infiltración y la relación carbono/nitrógeno.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

ADIS, G. Sin fecha. Conceptos básicos de investigación. [en línea]. <<https://www.binasss.sa.cr/bibliotecas/bhp/cupula/v6n12/art1>>. [consultado: 3 enero 2022].

ALLEN, C. MACALADY, A. CHENCHOUNI, K. BACHELET, D. MCDOWELL, N. VENNETIER, M..... COBB, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forest. *Forest Ecology and management*, 259 (4), 660-684.

ANGULO-JARAMILLO, R.; J. VANDERVAERE; S. ROULIER; J. THONY; J. GAUDET AND S. VAUCLIN, 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers. A review and recent developments. *Soil and Tillage Research*, 55: 1-29.

ARANDA, A. 2013. Rwhabilitacion de tallares envejecidos de quejigo mediante resalveos de conversión: Influencia de los pesos de las claras sobre crecimiento de los resalveos y vegetación. Proyecto para obtener el título de máster en restauración de ecosistemas, Universidad de Alcalá. Madrid, España.

AOKI, A. Y R. SERENO. 2005. Comparación de metodologías de cálculo de propiedades hidráulicas de un suelo a partir de datos medidos con infiltómetros de disco. *Agricultura Técnica*, 65(2): 204-209.

BANNISTER, J. DONOSO, P. MUJICA, R. 2016. La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. *Bosque (Valdivia)*. Vol. 37, n°2.

BALZARINI, M. TABLADA, M. GONZALES, A. CASANOVES, F. 2008. *Infostat: manual del usuario*. 334p.

BENTZ, B.J., ALLEN, C.D., AYRES, M., BERG, E., CARROLL, A., HANSEN, M., HICKE, J., JOYCE, L., LOGAN, J., MACFARLANE, W., MACMAHON, J., MUNSON, S., NEGRON, J., PAINE, T., POWELL, J., RAFFA, K., RE'GNIE` RE, J., REID, M., ROMME, W., SEYBOLD, S., SIX, D., TOMBACK, D., VANDYGRIFF, J., VEBLEN, T., WHITE, M., WITCOSKY, J., WOOD, D., 2009. In: Bentz, B.J. (Ed.), *Bark Beetle Outbreaks in Western North America: Causes and Consequences*. Univ. of Utah Press, ISBN: 978-0-87480965-7p. 42

BREDA, N., HUC, R., GRANIER, A., DREYER, E., 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science* 63, 625–644

BRAUN-BLANQUET, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid, Blume, 820p.

BUSTAMANTE, M. SALINAS, F. DIAZ, I. 2020. Sequía y manejo del bosque: la necesidad de mirar las respuestas más allá de los individuos. [diapositiva PowerPoint]. Concepción, Chile.

BOLFOR. MOSTACEDO, B. FREDERICKSEN, T. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.

CHIMENTI, C. s.a. Capacidad de ajuste osmótico. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. [consulta: 7 Enero 2022].

CLARK, J. IVERSON, L. WOODALL, C. ALLEN, BELL, D. BRAGG, D. D' AMATO, A. DAVIS, F. HERSH, M. IBANEZ, I. JACKSON, S. MATTHEWS, S. PEDERSON, N. PETERS, M. SCHWARTZ, M. WARING, K. ZIMMERMANN, N. 2016. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Global Change Biology*, 22(7), 2329-2352.

CR2. 2017. Explorador climático, Laguna Aculeo. [en línea]. Santiago, Chile. [<https://explorador.cr2.cl/>.] [consulta: 17 octubre 2021].

CRUZ, E. BECERRA, C. LARA, A. NIMPSCHT, J. WOELF, S. 2016. Impacto de la ganadería y la tala sobre los bosques nativos de conservación y el servicio ecosistémico de calidad de agua a escala de cuencas. Proyecto del fondo de investigación del bosque nativo 020/2016. 96 p.

CRUZ, P. RIVERA, H. BURGOS, J. 2018. Conceptos y Modelo de Ordenación Forestal construido en el Proyecto del Acuerdo de Producción Limpia de Bosques de la Región de Valparaíso. Proyecto GEF. [en línea]. <<https://gefmontana.mma.gob.cl/segundo-seminario-de-ordenacion-forestal-como-instrumento-de-gestion-publica-una-serie-de-capsulas-online/>>. [consulta: 22 noviembre 2021].

CONAMA, 2016. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe final. En colaboración con la Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile. 63p.

COOK, E. SEAGER, R. HEIM, R. VOSE, R. HERWEIJER, C. WOODHOUSE, C. 2009. Megadroughts in North America: placing IPCC projections of hydroclimatic change in a long-term palaeoclimate context. *Journal of quaternary science* (2009). ISSN 0267-8179.



DI CASTRI, F & HAYEK, E. 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 163p.

DIRKSEN, CH. 1999. Soil physics measurements. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 154p.

DONOSO, C. 2015. Estructura y dinámica de los Bosques del Cono sur de América. Santiago, Chile, Edición Universidad Mayor. 406p.

DONOSO C., 1994. Ecología Forestal: El Bosque y su Medio Ambiente. Cuarta Edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 369 p.

DONOSO, C. 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento n° 38. Santiago, Chile. Corporación Nacional Forestal. 90p.

DONOSO, C. 1982. Reseña Ecológica de los bosques mediterráneos de Chile. EN: Bosque. Volumen 4, N° 2. Universidad Austral de Chile. 117-146p.

DONOSO, P. Y SOTO, D., 2010. Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile: experiencias, desafíos y oportunidades. Revista Bosque Nativo 47: 10-17p.

DONOSO, S. PEÑA-ROJAS, K. PACHECO, C. LUNA, G. AGUIRRE, A (2017). Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de Quillaja saponaria y Cryptocarya alba sometidas a restricción hídrica. Bosques, 32 (2), 187-195.

DÖRNER, J. AND D. DEC. 2007. La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 7(2): 1-13.

DRAKER, F. EMANUELLI, P. ACUÑA, E. 2003. Compendio de funciones dendrométricas del bosque nativo. [en línea]. < <https://es.slideshare.net/SudAustralConsulting/compendio-de-funciones-dendromtricas>>. [consulta: 23 octubre 2021].

ELLIES, A.; R. GREZ AND C. RAMÍREZ. 1997. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnóstico de la estructura del suelo. AgroSur, 25(1): 51-56.

ERIDANUS. 2016. Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos Estratégicos - Laguna de Aculeo. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente. 125p.

FERRÁ, B. 2021. Evaluación de la regeneración natural de especies herbáceas del matorral y bosque esclerófilo tres temporadas después de ocurrido un incendio. Memoria para optar al título de Ingeniera en Recursos naturales renovables. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 59p.

FLORES, C. 2020. Caracterización florística y estructural de tres bosques de tipo azonal higrófilo de la Reserva Natural Altos de Cantillana. Memoria de ingeniero forestal. Universidad de Chile, Facultad de ciencias forestales. Santiago, Chile. 47p.

ESTADES, C. 2021. Formulación y evaluación de proyectos de conservación y protección. Monitoreo. Plataforma U-Cursos. [en línea]. <[https://www.u-cursos.cl/forestal/2021/1/FR04903/1/material\\_docente/detalle?id=4299042](https://www.u-cursos.cl/forestal/2021/1/FR04903/1/material_docente/detalle?id=4299042)>. [consulta: 1 diciembre 2021].

FRANCKE, S. VARGAS, R. WILLIAMS, E. PINTO, M. BARRIA, B. 1999. Recuperación de los suelos degradados en el marco de la nueva ley de fomento forestal. Santiago.

GAYOSO, J Y ALARCON D. 1999. Guía de conservación de suelos forestales. INFOR. Valdivia, Chile.15p.

Gao, L., E. Becker, G. Liang, A. A. Houssou, H. Wu, X. Wu, et al., 2017. Effect of different tillage systems on aggregate structure and inner distribution of organic carbon. *Geoderma*, 288: 97-104.

GONZÁLEZ, V Y LEMUS, M. 2017. Reforestación y restauración para el sector aledaño puertas negras, Comuna de Valparaíso. Biocys. Proyecto aprobado por CONAF. Valparaíso, Chile 90p.

GREZ, I. 2021. Protocolo para la realización de estudios fenológicos para las especies de interés. Centro productor de semillas y árboles forestales. Universidad de Chile.

HENRY, D. GUARDIOLA, M.BARRON, G. VILLEGAS, C. BRESHEARS, D.N ZOU, C. TROCH, P, HUXMAN, T. 2009. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. [en línea].<<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0901438106> />. [consulta: 22 Diciembre 2021].

HERNÁNDEZ, J. 2000. Manual de métodos y criterios para la evaluación y monitoreo de la flora y la vegetación. [en línea]. <<http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Manual%20de%20Métodos%20y%20Criterios%20para%20la%20Evaluación%20y%20Monitoreo%20de%20la%20Flora%20y%20la%20Vegetación>>. [consulta: 19 Agosto 2021].

HERNÁNDEZ, J. GACITUA, S. GONZÁLEZ, M. SILVA, S. TORO, J. MONTENEGRO, J. 2020. Efecto del uso de obras de conservación de agua y suelo (OCAS) en las propiedades del suelo y la respuesta en crecimiento de plantas agroforestales en secano. Región de Coquimbo. [en línea]. <<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/29899>>. Ciencia e Investigación Forestal INFOR. Volumen 26 N° 1. Chile.

HOFFMANN, A. 1998. Flora Silvestre de Chile, Zona Central. Santiago, Edición 4. Fundación Claudio Gay. 254p.

HOGG ET, BRANDT JP, KOCHTUBAJDA B. (2005) Factors affecting interannual variation in growth of western Canadian aspen forests during 1951-2000. Canadian Journal of Forest Research, 35, 610–622.

IEB. 2018. Crisis en la biodiversidad de Chile y las Américas: desde invasiones biológicas hasta la pérdida de biodiversidad cultural. [en línea]. < <https://ieb-chile.cl/noticia/crisis-en-la-biodiversidad-de-chile-y-las-americas-desde-invasiones-biologicas-hasta-la-perdida-de-diversidad-cultural/>>. [consulta: 11 enero 2021].

IPCC. 2013. Cambio Climático 2013- Bases Físicas. Resumen para responsabilidades políticas. Estados Unidos de América. OMM y PNUMA. 222 p.

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad, documento técnico. Estados Unidos de América. OMM y PNUMA. 93 p.

JARA, P. ARANCIO, G. MORENO, R. CARMONA, M. 2006. Factores abióticos que influyen la germinación de seis especies de herbáceas de la zona árida de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Vol.79, n°3.

JUNTA DE ANDALUCÍA. 2009. Manual para el seguimiento del estado sanitario de la vegetación arbórea en la dehesa. Consejería de agricultura y pesca, Consejería de Medio Ambiente. España. 248 p.

JURY, W. AND R. HORTON. 2004. Soil Physics. 6th Ed. New Jersey. USA. 370 p.

LABRA, F. FIGUEROA, C. 2020. Crítica situación de los bosques de Chile central motiva a investigadores a solicitar apoyo y participación ciudadana. [en línea]. < <http://www.forestal.uach.cl/noticias/post.php?s=2020-10-06-critica-situacion-de-los-bosques-de-chile-central-motiva-a-investigadores-a-solicitar-apoyo-y-participacion-ciudadana>>. [consulta: 11 Marzo, 2021].

LABRA, F. GONZALEZ, M. GACITUA, S. MONTENEGRO, J. VILLALOBOS, E. GOMES, A. 2018. Manual para la implementación de obras de conservación de suelos y cosecha de aguas lluvias en Alhué. Predio de la comunidad agrícola Villa Alhué. Instituto Forestal. 105 p.

LEMUS, M. NAVARRO, G. 2003. Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo. Corporación Nacional Forestal. San Fernando, Chile.

LUEBERT F. PLISCOFF P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Biodiversidad. Editorial Universitaria. 119 p

LUZIO, W. ALCAYAGA , S. 1992. Mapa de asociaciones de grandes grupos de suelos de Chile [en línea]. < <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/34650> > [Consulta: 9 junio 2021].

MACDOUGALL, A. MCCANN, K. GELLNER, G. TURKINGTON, R. 2013. Diversity loss with persistent human disturbance increases vulnerability to ecosystem collapse. *Nature*, 490 (7435), 86-89p.

MAGNI, C. SHERSON, R. ROMERO, F. MARTÍNEZ, E. 2015. Propuesta de protocolo para la definición de créditos por ganancia en biodiversidad en ecosistemas mediterráneos de Chile central. Informe de avance N 1. Universidad de Chile. 66 p.

MANZUR, M Y VILLALBA, B. 2008. Guía técnica de buenas prácticas. Recursos naturales, agua, suelo, aire y biodiversidad. Ministerio de agricultura. Subsecretaría de agricultura. 104p.

MARTÍNEZ VILALTA, J., PIÑOL, J., BEVEN, K., 2002. A hydraulic model to predict drought- induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean. *Ecol. Modell.* 155, 127–147.

MARQUET, P. ABADES, S. ARMESTO, J. BARRIA, I. ARROYO, M. CAVIERES, L. GAJARDO, R. GARÍN, C. LABRA, F. MEZA, F. PRADO, C. RAMÍREZ, P. VICUÑA, S. 2017. Estudio de vulnerabilidad de la biodiversidad terrestre en la eco-región mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático. Ministerio de medio ambiente, en colaboración con Centro cambio global de la Universidad Católica.

MCPHEE, J., CORTÉS, G., ROJAS, M., GARCIA, L., DESCALZI, A., VARGAS, L. 2014. Downscaling Climate Changes for Santiago: What Effects can be Expected? En K. Krellenberg, B. Hansjurgens, *Climate Adaptation Santiago* págs. 19-42. Leipzig: Springer.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA), 2014. Quinto Informe nacional de biodiversidad de Chile. Santiago, Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 140 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2011. Prácticas de conservación de suelos y agua para la adaptación productiva a la variabilidad climática. secano de la Región de O'Higgins. Apoyo al Diseño e Implementación de un Modelo de Gestión del Riesgo Agroclimático. Subsecretaría de Agricultura. Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) Santiago, Chile.

MIRANDA, A. 2020. La alarmante pérdida de resistencia del bosque esclerófilo: al menos un tercio ha disminuido su verdor por la mega sequía en la zona central. Ladera Sur. <<https://laderasur.com/articulo/la-alarmante-perdida-de-resistencia-del-bosque-esclerofilo-al-menos-un-tercio-ha-disminuido-su-verdor-por-la-megasequia-en-la-zona-central/>>. [consulta:11 mayo 2021]

MIRANDA, A. LARA, A. ALTAMIRANO, A. DI BELLA, C. GONZÁLEZ, M. CAMARERO, J. 2020. Forest browning trends in response to drought in a highly threatened Mediterranean landscape of South American. Ecological Indicators 115 (2020) 106401. 10 p.

MILAN, J. MANZANARES, P. GARCIA, J. REAL, P. 2000. Estudio básico manejo, Restauración de suelos y control de erosión cuenca estero Nilahue VI Región. Universidad de Concepción.

MUÑOZ, M. AEDO, D. SAN MARTÍN, J. 2015. Antecedentes sobre la recolección y comercialización de productos forestales no madereros (PFNM), en localidades rurales de la Región del Maule, Chile central. Bosque (Valdivia), 36(1), 121-125.

NIELSON, D.R.; J.W. BIGGAR AND K.T. ERH. 1973. Spatial variability of field measured soil water properties. Hilgardia, 42(7): 215-259.

OJEDA, H. 2018. Efecto de la intensidad de poda y disponibilidad de recursos hídricos del sitio en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Forestales. Concepcion. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias forestales. 98p.

OVEJERO, D Y MINETTI, J. 2016. Tendencias en los índices de sequía para la región subtropical de la tierra. Universidad nacional de Tucuman, departamento de geografía. Contribuciones científicas GAEA, volumen 28. 143-156p.

PROIA, A. 2008. Propuesta de valoración ecoturística del parque natural privado Altos de Cantillana, región metropolitana, Chile. Memoria de administración en ecoturismo, Universidad Andres Bello, Facultad de ecología y recursos naturales. Santiago, Chile. 174 p.

PERROUX, K.M. AND I. WHITE. 1988. Designs for disc permeameters. Soil Science Society of America Journal, 52(1): 1205-1215.

PEÑA-ROJAS, K. 2018. Flujo de agua. Crecimiento y desarrollo de árboles [diapositivas power point]. Plataforma U-Cursos.

PEÑA-ROJAS, K Y DONOSO, S. 2021. Inventario Forestal. [diapositivas power point]. Plataforma U-Cursos.

PEÑUELAS, J., LLORET, F., MONTOYA, R., 2001. Severe drought effects on mediterranean woody flora in Spain. Forest Science 47, 214–218.

RIVAS, C. 2019. Análisis multicriterio para la recuperación de la laguna Aculeo. Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile, Facultad de ciencias forestales. Santiago, Chile. 246p.

RUNDEL, P. WEISSER, P. 1975. La campana, a new national park in central Chile. [en línea]. <[https://www.researchgate.net/publication/232324992\\_La\\_Campana\\_a\\_new\\_national\\_park\\_in\\_central\\_Chile](https://www.researchgate.net/publication/232324992_La_Campana_a_new_national_park_in_central_Chile)>. [consulta: 30 junio 2021].

ROBINSON, N. SCHEELER, B. LEGGE, S. SOUTHWELL, D. CARTER, O. LITERMANS, M. RADFOR, J. SKROBLIN, A. DICKMAN, C. KOLECK, J. WAYNE, A. KANOWSKI, J. GILLESPIE, G. LINDENMAYER, D. 2018. How to ensure threatened species monitoring leads to threatened species conservation. Ecological Management & reforestation. Vol 19 (3): 222-229.

ROOD, S.B., PATIÑO, S., COOMBS, K. TYREE, M.T., 2000. Branch sacrifice: cavitation-associated drought adaptation of riparian cottonwoods. Trees 14, 248–257.

ROJAS, L. 2019. Investigación de postgrado analizó pérdida y efectos de la sequía en los bosques nativos de Chile. [en línea]. Diario Universidad Austral de Chile. 14 marzo de 2019. <<https://diario.uach.cl/investigacion-de-postgrado-analisis-perdida-y-efectos-de-la-sequia-en-los-bosques-nativos-de-chile/>>. [consulta: 22 octubre 2021].

ROMERO, X. CUVERTINO, J. FURCI, G. PEREIRA, I. 2012. Guía de reconocimiento. Los microbosques de Altos de Cantillana. Corporación Aculeufu, financiado por Fondo de protección ambiental del ministerio del medio ambiente. 89p.

ROVERE, A. 2000. Condiciones ambientales de la regeneración de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) En: Poblete, H. Mariani, Sm Trincado, G. Vergara, R. Bosque. Volumen 21 N°1. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. ISSN 0304-8799. pp 57-64.

SANCHO, F Y VILLATORO, M. 2006. Efecto de la posición en la pendiente sobre la productividad de tres secuencias de suelos en ambientes rústicos de Costa Rica. 172p.

SEAGER, R. TING, M. HELD, I. YOCHANAN, K. LU, J. VECCHI, G. HUANG, H. HARNIK, N. LEETMAA, A. LAU, N. LI, C. VELEZ, J. NAIK, N. 2007. Model Projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science*, 316 (5828), 1181-1184.

SEKERCIOGLU, C. PRIMACK, R. WORMWORTH, J. 2011. The effects of climate change on tropical birds. *Biological conservation* 148 (2012) 1-18p.

SECRETARÍA DEL AGUA Y OBRA PÚBLICA. 2009. Manual de conservación de suelo y agua. Gobierno del Estado de México, México.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO, 2011. Pauta para estudio de suelos. [en línea]. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016> [consulta: 15 septiembre 2021].

SEGUEL, O. HARDY, C. ALFARO, F. PASTENES, C. Estrategias agronómicas de gestión del riego que permitan aumentar la productividad y la sustentabilidad de los sistemas frutícolas ante el proceso de aridización. Proyecto PYT 2016-0152. Santiago, Universidad de Chile y Fundación para la innovación agraria (FIA). 87p.

SILVA, C. 2015. Variabilidad espacial de las propiedades hidráulicas en un inceptisol de textura gruesa bajo cultivo de maíz grano en la zona mediterránea de Chile. Memoria para optar al título de ingeniera agrónoma. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 35p.

TABOADA, M. A. Y ALVAREZ, C. R., 2008. Fertilidad Física de los Suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD DE CHILE. 2007. Profundización de la línea de base ambiental y ecológica del sector de mayor valor ecológico del cordón de Cantillana. Elaborado para CONAMA-GEF-PNUD. Proyecto “Conservación de la biodiversidad en los Altos de Cantillana, Chile”. 323p.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. 2004. Establecimiento de un ordenamiento territorial orientado a la protección y uso sustentable del área del cordón de Cantillana. Elaborado con Centro EULA. 213p.

URIBE, E. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Programa EUROCLIMA (CEC/14/001). Naciones Unidas, Santiago. Unión europea, Comisión económica para América latina y el caribe (CEPAL). 86 P.

VALDEBENITO, G. HORMAZABAL, M. ALVAREZ, A. 2020. Obras de recuperación y conservación de suelo. Instituto de investigación agropecuaria. 4p-

VALLEDARES, F. VILAGROSA, A. PENUELAS, J. OGAYA, R. CAMARERO, J. CORCUERA, L. SISÓ, S. PELEGRÍN, E. 2014. Estrés hídrico: Ecofisiología y escalas de la sequía. [en línea]. <  
[https://www.researchgate.net/publication/267260569 Estres hidrico ecofisiologia y escalas de la sequia](https://www.researchgate.net/publication/267260569_Estres_hidrico_ecofisiologia_y_escalas_de_la_sequia)>. [consulta: 2 Enero 2022].

VENEGAS, M. 2006. Amenaza fluvial y viabilidad geográfica de un sistema de explotación de áridos para el manejo estructural de los cauces fluviales en el área de Valdivia de Paine, comuna de Buin. [en línea].  
[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/100878/venegas\\_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/100878/venegas_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y). [consulta: 31 enero 2022].

VITA, A. 2007. Silvicultura en zonas áridas. EN: Hernández, J. De la Maza, C. y Estados, C. (Eds.). Biodiversidad: Manejo y conservación de recursos forestales. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 362 - 403 pp.

WALKER, C.; H.S. LIN AND D. FRITTON, 2006. Is the tension beneath a tension infiltrometer what we think it is?. Vadose Zone Journal, 5: 860-866.

WILLIAMS AP, ALLEN CD, MACALADY AK ET AL. (2013) Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. Nature Climate Change, 3, 292– 297.

ZHANG, R. 1997. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. Soil Science Society America Journal, 61: 1024-1030.



## 6. ANEXO

Anexo I: Protocolo para la realización de estudios fenológicos para las especies de interés.

**Cuadro 16:** Fases fenológicas para ejemplares en estado vegetativo

<b>ESTADO VEGETATIVO ESPECIES</b>		
<b>A. No pierden la hoja o carecen de ellas</b>		Código
1	Inicio del desarrollo vegetativo	A1
2	Formación de nuevos tallos/hojas y/o crecimiento	A2
3	Hasta un 25% de los tallos/hojas muestran desarrollo	A3
4	Hasta un 50% de los tallos/hojas muestran desarrollo	A4
5	Hasta un 75% de los tallos/hojas muestran desarrollo	A5
6	Más de un 75% de los tallos/hojas muestran desarrollo	A6
7	Primeros ápices comienzan a amarillar	A7
8	Hasta un 50% de los tallos/hojas amarillas	A8
9	Detención del desarrollo	A9
<b>B. Pierden la hoja</b>		Código
1	Hojas comienzan a desarrollarse	B1
2	Hojas en hasta un 25% de la planta	B2
3	Hojas en hasta un 50% de la planta	B3
4	Hojas en hasta un 75% de la planta	B4
5	Hojas en más del 75% de la planta	B5
6	Primeras hojas amarillando	B6
7	Hasta un 50% de las hojas amarillas	B7
8	Más de un 50% de las hojas amarillas	B8
9	Caída de las hojas muertas	B9

Fuente: Grez., 2021. Centro productor de semillas y árboles forestales.

**Cuadro 17:** Fases fenológicas para ejemplares en estados reproductivos

<b>C. Estado generativo especies</b>		Código
0	No se detecta actividad	C0
1	Primeras yemas florales reconocibles	C1
2	Inicio de la floración	C2
3	Hasta un 25% de las plantas en floración	C3
4	Hasta un 50% de las plantas en floración	C4
5	Floración completa	C5
6	Inicio de la fructificación	C6
7	Completamente fructificando	C7
8	Caída y dispersión	C8

Fuente: Grez., 2021. Centro productor de semillas y árboles forestales.

Anexo II. Vegetación herbácea.

**Cuadro 18:** Escala de abundancia de Braun-Blanquet (1979)

<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
<b>5</b>	Cualquier número de individuos que cubra > 75% área.
<b>4</b>	Cualquier número de individuos que cubra entre 50-75% del área.
<b>3</b>	Cualquier número de individuos que cubra entre el 25- 50% del área.
<b>2</b>	Cualquier número de individuos que cubra entre el 5 - 25% del área.
<b>1</b>	Abundante, pero con un valor de cobertura bajo, o bien pocos individuos
<b>+</b>	Pocos individuos y pequeña cobertura
<b>R</b>	Individuos raros o únicos con pequeña cobertura

**Cuadro 19:** Clasificación de la forma de vida herbácea.

<b>Composición (Forma de vida)</b>	
<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
<b>T</b>	Terofitas
<b>G</b>	Geofitas
<b>H</b>	Hemicriptofitas

Fuente: Ferrá, B. 2021

**Cuadro 20:** Clasificación del origen de herbáceas

<b>Composición (Origen)</b>	
<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
<b>E</b>	Endémico
<b>AU</b>	Autóctono
<b>AL</b>	Alóctono

Fuente: Ferrá, B. 2021

## 7. APÉNDICE

### Apéndice I: Listado florístico

**Cuadro 21:** Formulario para realizar el listado florístico de las especies no herbáceas.

<b>Autor</b>		<b>Nº parcela</b>	
<b>Formación</b>		<b>Fecha</b>	
<b>Lugar</b>		<b>Ubicación geográfica</b>	
<b>Área</b>		<b>Exposición</b>	
<b>Altitud</b>		<b>Pendiente</b>	
<b>Nº cepa</b>	<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Estado de conservación</b>
<b>Observaciones:</b>			

**Cuadro 22:** Formulario para realizar listado florístico de las especies herbáceas

<b>Autor</b>		<b>Nº parcela</b>		
<b>Formación</b>		<b>Fecha</b>		
<b>Lugar</b>		<b>Ubicación geográfica</b>		
<b>Área</b>		<b>Exposición</b>		
<b>Altitud</b>		<b>Pendiente</b>		
<b>Cuadrante</b>	<b>Especie</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Forma de vida</b>	<b>Origen</b>
<b>Observaciones:</b>				

## Apéndice II: Formulario crecimiento y estado sanitario

**Cuadro 23:** Inventario dasométrico y fitosociológico.

<b>Autores</b>				<b>N° parcela</b>						
<b>Formación</b>				<b>Fecha</b>						
<b>Lugar</b>				<b>Ubicación geográfica</b>						
<b>Área</b>				<b>Exposición</b>						
<b>Altitud</b>				<b>Pendiente</b>						
<b>Estrato arbóreo superior</b>			<b>Altura</b>		<b>Cobertura (%)</b>					
<b>Estrato arbóreo medio</b>			<b>Altura</b>		<b>Cobertura (%)</b>					
<b>Estrato arbustivo</b>			<b>Altura</b>		<b>Cobertura (%)</b>					
<b>Estrato herbáceo</b>			<b>Altura</b>		<b>Cobertura (%)</b>					
<b>N° Cepa</b>	<b>Especie</b>	<b>Estrato</b>	<b>N° vástago</b>	<b>Coloración verde (Si-No)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>DAP</b>	<b>Estado sanitario</b>	<b>Fase fenológica</b>	<b>Distancia copa</b>	
									<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>
<b>Observaciones:</b>										

## Apéndice III: Formulario de reclutamiento

**Cuadro 24:** Formulario de reclutamiento

<b>Autores</b>			<b>N° parcela</b>		
<b>Formación</b>			<b>Fecha</b>		
<b>Lugar</b>			<b>Ubicación geográfica</b>		
<b>Área</b>			<b>Exposición</b>		

Altitud						Pendiente					
N° Cepa	Esp ecie	N° vástag os	D A C	Alt urala	Origen Plántula	N° Cepa	Esp ecie	N° vástag os	D A C	Alt urala	Origen Plántula
<b>Observaciones:</b>											

Dónde Origen de la plántula: Semilla (S). Vegetativa (V). No se identifica (NI).

#### Apéndice IV: Formulario suelo

**Cuadro 25:** Formulario caracterización suelo.

<b>Autor</b>		<b>N° parcela</b>	
<b>Fecha</b>		<b>Lugar</b>	
<b>Altitud</b>		<b>Ubicación geográfica</b>	
<b>Exposición</b>		<b>Toma muestra suelo:</b>	<b>sí / no</b>
<b>Profundidad de hojarasca (cm)</b>			
<b>Pedregosidad superficial</b>			
<b>Infiltración</b>			
<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Tensión</b>		
	<b>-1</b>	<b>-3</b>	<b>-6</b>
<b>0</b>			
<b>30</b>			
<b>60</b>			
<b>90</b>			
<b>120</b>			
<b>150</b>			
<b>180</b>			
<b>210</b>			
<b>240</b>			
<b>270</b>			
<b>300</b>			
<b>330</b>			
<b>360</b>			

<b>390</b>			
<b>420</b>			
<b>450</b>			
<b>480</b>			
<b>510</b>			
<b>540</b>			
<b>570</b>			
<b>600</b>			

### Apéndice V: Datos por parcela del suelo

**Cuadro 26:** Promedio por parcela de las tres subunidades realizadas en la exposición sur.

Exposición Sur						
Parcela	Altitud (msnm)	Pendiente media	Pedregosidad	Profundidad del suelo	Profundidad de hojarasca	Infiltración (cm/hr)
2	517	6,60%	abundante	19,8	1,5	4,24946667
4	396	48%	sin pedregosidad	27,3	7,2	7,6126
6	445	33%	sin pedregosidad	27,3	1,9	1,85176667
promedio	453	29,20%	moderada	24,8	3,53333333	4,57127778

**Cuadro 27:** Promedio por parcela de las tres subunidades realizadas en la exposición norte.

Exposición Norte						
Parcela	Altitud (msnm)	Pendiente media	Pedregosidad	Profundidad del suelo	Profundidad de hojarasca	Infiltración (cm/hr)
1	528	10%	moderada	14,83	0,7	5,361
3	440	25%	ligera	26,73	0,7	2,44506667
5	436	15%	ligera	9,6	1,5	1,58503333
promedio	484	18%	ligera-moderada	20,78	0,7	3,90303333

## Apéndice VI: Tablas de la prueba Fisher

**Cuadro 28:** Resultados de la prueba de Fisher sobre la cantidad de vástagos según exposición.

<b>Promedio de vástagos</b>				
LSD FISHER ALFA=0,05 dms=10,48992				
error: 411,936 gl:58				
<b>Exposición</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>e.e</b>	
Norte	5,97	30	3,71	A
Sur	12,43	30	3,71	A

**Cuadro 29:** Resultados de la prueba de Fisher sobre el área basal según exposición.

<b>Área Basal</b>				
LSD FISHER ALFA=0,05 dms=0,06203				
ERROR: 0,0144 GL: 58				
<b>EXPOSICION</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>	
NORTE	0,05	30	0,02	A
SUR	0,1	30	0,02	A

**Cuadro 30:** Resultados de la prueba de Fisher sobre el volumen según exposición.

<b>Volumen</b>				
LSD FISHER ALFA=0,05 dms=0,21461				
error: 0,1724 gl: 58				
<b>exposición</b>	<b>medias</b>	<b>n</b>	<b>e.e</b>	
norte	0,12	30	0,08	A
sur	0,3	30	0,08	A

**Cuadro 31:** Resultados de la prueba de Fisher sobre el estado sanitario según exposición.

<b>Estado sanitario</b>				
LSD FISHER ALFA=0,05 dms=0,89613				
error:2,9531 gl:57				
<b>exposición</b>	<b>medias</b>	<b>n</b>	<b>e.e</b>	
norte	1,99	29	0,31	A
sur	1,69	30	0,32	A