UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza
Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

PROPIEDADES EDÁFICAS ASOCIADAS A COMUNIDADES DE *Porlieria chilensis* Johnst Y SU POTENCIAL USO PARA LA CONSERVACIÓN DE ESTA ESPECIE

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

DORIS MARGARITA GONZÁLEZ RIQUELME

SANTIAGO-CHILE
2018

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

Profesor(a) Guía Nombre _____

Nota _____

Firma _____

Profesor(a) Consejero(a) Nombre _____

Nota _____

Firma _____

Profesor(a) Consejero(a) Nombre _____

Nota _____

Firma _____

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi profesor guía Juan Pablo Fuentes Espoz por su constante apoyo, orientación y consejos, gracias por creer en mi y ayudarme a lograr completar esta etapa en mi vida.

También quisiera agradecer a Daniela Celedón, del Laboratorio de Ecología de Suelos Ventura Matte de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza por alentarme y apoyarme con los análisis realizados, sin su ayuda este trabaja no hubiese sido el mismo.

A mis profesores consejeros, Karen Peña y Eduardo Martínez, por sus asertivos y valiosos aportes a mi investigación, gracias por darse el tiempo para ayudarme a mejorar mi investigación.

También quisiera agradecer a mis amigos Quichi y Franco y a mi hermano Juan por ayudarme en la toma de muestra en terreno, gracias por su buena disposición y apoyo.

A mis amigos de universidad Yasna, Fer, Marilyn (Marcelo), Franco, David, Feño y Bruno por los buenos momentos vividos en esta hermosa etapa. Gracias totales.

Y finalmente, quisiera agradecer a mis padres, por enseñarme desde siempre a amar la naturaleza y las cosas sencillas de la vida y por enseñarme de lucha y perseverancia. Gracias por el apoyo y cariño que me dan. Esta tesis es para ustedes.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS **1**

RESUMEN **1**

1. INTRODUCCIÓN **1**

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA **3**

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE 3

2.2 VARIABLES MODELADORAS DEL PAISAJE 4

2.3 INTERACCIÓN SUELO-PLANTA 5

2.4 PRESIÓN ANTRÓPICA Y SUELO 7

2.5 REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS Y SUELOS DEGRADADOS 8

3. MATERIAL Y MÉTODO **13**

3.1 MATERIAL 13

3.2 MÉTODO 15

3.2.1 Caracterización del paisaje y de las comunidades de *P. chilensis* 15

3.2.2 Descripción morfológica de los suelos 15

3.2.3 Colecta de muestras de suelo 15

3.2.4 Análisis de laboratorio 16

3.2.4.1 Análisis químico *17*

3.2.4.2 Análisis físico *18*

3.2.5 Análisis de la información 19

4. RESULTADOS **20**

4.1 CLIMA GENERAL DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO 20

4.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 23

4.3 ANÁLISIS GENERAL DE LA VEGETACIÓN EN LOS SECTORES DE ESTUDIO 25

4.3.1 Análisis estructural de las comunidades de guayacán investigadas 27

4.4 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS EN ESTUDIO 33

4.4.1 Descripción morfológica y física de los suelos 33

4.4.2 Propiedades químicas de los suelos de estudio 47

4.4.3 Efecto de la cobertura de guayacán en la superficie del suelo 59

4.4.3.1 Efecto de la cobertura de guayacán en la textura superficial y propiedades asociadas *59*
4.4.3.2 Efecto de la cobertura en las propiedades químicas a nivel superficial ... *61*
4.5 LINEAMIENTOS DE UNA PROPUESTA DE CONSERVACIÓN 67
4.5.1 Lineamientos estratégicos para la conservación de *Porlieria chilensis* 68
4.5.1.1 Evaluación de los factores condicionantes de degradación de P. chilensis *68*
4.5.1.2 Acciones a realizar *70*
4.5.1.3 Horizonte de tiempo *71*
4.5.2 Primera etapa *72*
4.5.3 Segunda etapa *82*
5. DISCUSIÓN **86**
6. CONCLUSIÓN **92**
7. BIBLIOGRAFÍA **93**
8. ANEXO **101**
8.1 CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD POR SECTOR DE ESTUDIO 101
8.2 ANOVAS POR SECTOR DE ESTUDIO 107
9. ANEXO FOTOGRÁFICO **110**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de distribución de *Porlieria chilensis* 3
Figura 2: Diagrama conceptual de enfoques asociados al mejoramiento de ecosistemas degradados. 10
Figura 3: Beneficios ecológicos de la conservación de suelos..... 12
Figura 4: Sectores de estudio..... 14
Figura 5. Esquema de recolección de muestras de suelo..... 16
Figura 6: Diagramas ombrotérmicos para las diferentes localidades de estudio..... 21
Figura 7: Mapa de Isoyetas e Isotermas para las zonas de estudio..... 22
Figura 8: Cerco perimetral (A) y estado de algunos individuos de *P. chilensis* en el sector de Las Cardas, Región de Coquimbo (B)..... 25
Figura 9: Individuos de *P. chilensis* encontrados en las diferentes áreas de estudio. 26
Figura 10: Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos, sector Cajón de los Valles. 27
Figura 11. Densidad total y de individuos de *P. chilensis* por sector de estudio. 28
Figura 12. Estructura vertical y horizontal, sector Las Cardas y Quebrada del Guayacán. 30
Figura 13. Estructura vertical y horizontal, sector Cajón de los Valles y Camino a Farellones... 31
Figura 14. Estructura vertical y horizontal, sector Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra..... 32
Figura 15. Cantidad de hojarasca promedio en los sectores de estudio. 33
Figura 16. Perfiles verticales de las zonas de estudio. 34
Figura 17. Perfiles encontrados en los diferentes sectores de estudio bajo cobertura de guayacán..... 34
Figura 18: Clases texturales presentes en los sectores de estudio (triángulo textural USDA). .. 40
Figura 19. Distribución espacial de la conductividad hidráulica saturada en el suelo..... 41
Figura 20. Nivel de similitud entre perfiles en función de la conductividad hidráulica saturada (cm/día) del suelo..... 41
Figura 21. Distribución espacial de la densidad aparente en el suelo..... 46
Figura 22. Nivel de similitud entre perfiles en función de la densidad aparente (g/cm3) del suelo 46
Figura 23. pH del suelo 48
Figura 24. Nivel de similitud entre perfiles en función del pH..... 48
Figura 25: Distribución espacial del contenido de materia orgánica en el suelo 49
Figura 26. Nivel de similitud entre perfiles en función de la materia orgánica (%)..... 50
Figura 27. Distribución espacial de la conductividad eléctrica en el suelo. 51

Figura 28. Nivel de similitud entre perfiles en función de la conductividad eléctrica (dS/m) 51
Figura 29. Distribución espacial de fósforo disponible en el suelo 52
Figura 30. Nivel de similitud entre perfiles en función del fósforo disponible (mg/Kg) 53
Figura 31. Distribución espacial de nitrógeno total en el suelo. 53
Figura 32. Nivel de similitud entre perfiles en función del nitrógeno total (%) en el suelo 54
Figura 33. Distribución espacial de nitrógeno disponible en el suelo. 55
Figura 34. Nivel de similitud entre perfiles en función del nitrógeno disponible (mg/kg) en el suelo 55
Figura 35: Clases texturales presentes en los suelos de estudio (triángulo textural USDA). 60
Figura 36. Valores medios de conductividad hidráulica saturada por sector y cobertura. 61
Figura 37: Valores medios de pH por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial.. 62
Figura 38. Valores medios de materia orgánica por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial..... 62
Figura 39. Valores medios de conductividad eléctrica por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. 63
Figura 40. Valores medios de fósforo disponible por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial..... 64
Figura 41. Valores medios de nitrógeno total por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial..... 65
Figura 42. Valores medios de nitrógeno disponible por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial..... 66
Figura 43: Guayacanes afectados por ganado.. 69
Figura 44: Predios de uso agrícola que generan la fragmentación de la matriz natural. 70
Figura 45: Esquema de manejo adaptativo. 71
Figura 46: Esquema de establecimiento de barrera natural bajo copas de *P. chilensis*. 76
Figura 47: Esquema comparativo de diferentes técnicas de reforestación 78
Figura 48: Esquema de incorporación de individuos bajo la copa de *P.chilensis*..... 78
Figura 49: Esquema propuesto para establecer los lineamientos para la conservación de *P. chilensis*, dentro de un marco de manejo adaptativo. 84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Principales características del paisaje de cada localidad de estudio. 24
Tabla 2: Descripción física de los perfiles del suelo de estudio 37
Tabla 3: Características físicas de los suelos de estudio 43
Tabla 4: Descripción química de los suelos de estudio 56
Tabla 5: Características químicas obtenidas en los primeros cm de suelo bajo y fuera de cobertura de *P. chilensis* por sector de estudio. 66
Tabla 6: Tabla resumen actividades Plan de conservación de guayacán 85

RESUMEN

El conocimiento de los requerimientos ambientales y adaptaciones naturales de una especie es fundamental para poder establecer estrategias de manejo enfocadas en su conservación. En el presente estudio se caracterizaron algunas propiedades físicas, químicas y morfológicas de comunidades de guayacán (*Porlieria chilensis*) a lo largo de su distribución natural en el país, y se evaluó la influencia de esta especie en la distribución vertical y horizontal del suelo, y en algunas propiedades edáficas. Para esto, se extrajeron muestras de suelo en seis localidades diferentes distribuidas entre la Región de Coquimbo y la Región del Libertador Bernardo O´Higgins, analizando el paisaje, estructura de las comunidades y geomorfología. De igual manera se realizó un análisis de similitud de las variables entre sectores de estudio, para observar alguna posible asociación existente. Para evaluar la influencia de *Porlieria chilensis* en las propiedades de suelo se realizó un análisis de varianza de dos vías, o un método no paramétrico si las variables no cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad. Adicionalmente, se propuso lineamientos estratégicos enfocados en la conservación de las comunidades de guayacán, abarcando diferentes ámbitos que podrían estar implicados en la conservación de esta especie. En la mayoría de los sectores de estudio se evidenció la continua degradación de los ecosistemas donde habita guayacán, siendo el cambio de uso de suelo y la actividad ganadera los principales factores causantes del deterioro de estos ecosistemas. Se observó también, que guayacán crece preferentemente en suelos con textura gruesa, no salinos y pH medianamente a moderadamente ácidos. El contenido de materia orgánica fue mayor bajo cobertura de guayacán que fuera de ésta. No obstante, fósforo disponible y nitrógeno total no presentaron relación alguna en cuanto a su distribución a lo largo del perfil, ni en cobertura de guayacán. En cuanto a la geomorfología de los sectores de estudio, se encontraron poblaciones creciendo en laderas de cerro, piedmont y planicie, con pendientes entre 0 y 30%, y altitud entre los 340 y 1.230 msnm. La propuesta establecida de lineamientos estratégicos puede servir como una herramienta para futuros planes de conservación, destinados a mejorar la condición actual de poblaciones naturales de *Porlieria chilensis* a lo largo de su distribución en el país.

Palabras claves: guayacán, propiedades del suelo, rehabilitación, lineamientos de conservación.

SUMMARY

The knowledge of the environmental requirements and natural adaptations of a species is fundamental to be able to establish management strategies focused on its conservation. In the present study, some physical, chemical and morphological properties of communities of guayacán (*Porlieria chilensis*) were characterized throughout their natural distribution in the country and the influence of this species on the vertical and horizontal distribution of the soil in some properties edaphic was evaluated. For this, soil samples were extracted in six different localities distributed between the Region of Coquimbo and the Region of Libertador Bernardo O'Higgins, analyzing the landscape, structure of the communities, geomorphology and physical, chemical and morphological properties. Similarly, an analysis of the similarity of the variables between study sectors was carried out, in order to observe some possible existing association. To assess the influence of *Porlieria chilensis* on soil properties, a two-way analysis of variance was performed, or a non-parametric method if the variables did not meet the assumptions of normality and homogeneity. Additionally, strategic guidelines focused on the conservation of guayacán communities were proposed, covering different areas that could be involved in the conservation of this species. In most of the study sectors, the continuous degradation of the ecosystems inhabited by guayacán was evident, with the change in land use and livestock activity being the main factors causing the deterioration of these ecosystems. It was also observed that guayacán grows preferably in soils with coarse texture, non-saline and pH moderately to moderately acidic. The content of organic matter was higher under guayacán coverage than outside it. However, available phosphorus and total nitrogen did not show any relationship in terms of their distribution along the profile or in guayacán coverage. As for the geomorphology of the study sectors, populations were found growing on slopes of hill, piedmont and plain, with slopes between 0 and 30% and altitude between 340 and 1.230 meters above sea level. The established proposal of strategic guidelines can serve as a tool for future conservation plans aimed at improving the current condition of natural populations of *Porlieria chilensis* throughout its distribution in the country.

Keywords: guayacán, soil properties, rehabilitation, conservation guidelines.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el impacto que ha generado el ser humano ha ocasionado un constante y progresivo deterioro de los ecosistemas del planeta, se estima que para las próximas décadas existirán tasas de extinción sin precedente alguno, generadas principalmente por el crecimiento de la población, cambio climático, la tala de árboles, la pérdida de hábitat, el consumo excesivo de recursos, introducción de especies invasoras y la expansión agrícola (Brook *et al*., 2003; Thomas *et al*., 2004; Dumanski, 2015). Chile no ha estado ajeno a los impactos que provocan la disminución de la biodiversidad y deterioro de sus componentes bióticos y abióticos, varios autores establecen que prácticamente todos los ecosistemas terrestres de las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas de la zona centro norte del país han sido perturbadas y degradadas (Etienne *et al*., 1987; Armesto y Pickett 1985; Gastó *et al*., 1990). Por otra parte, se establece que la principal fuerza transformadora del paisaje en el centro sur de Chile es el cambio de uso de suelo, principalmente para uso agrícola y forestal (Donoso y Lara, 1996; Sanhueza y Azócar, 2000; Aguayo *et al*., 2009).

Guayacán (*Porlieria chilensis* Johnst)*,* es una de las especies que ha sufrido los embates del desarrollo humano, actualmente se encuentra amenazada por varios factores, entre los que sobresalen la tala indiscriminada para uso de su madera como leña, carbón (Arancio *et al*., 2001) y artesanía dada las características de su madera (Rallo *et al*., 2007). También se ha observado el daño causado por el sobrepastoreo de cabras (Arancio *et al*., 2001; Squeo *et al*., 2001), amenaza que se evidencia con mayor fuerza en la Región de Coquimbo, ya que es la región con mayor densidad de ganado caprino del país (Cofré, 2001). El conjunto de amenazas que han enfrentado las poblaciones de guayacán ha llevado a que esta especie evidencie una continua disminución de sus poblaciones y un empobrecimiento de la calidad de los individuos, hecho que ha llevado a esta especie a ser catalogada de Vulnerable (VU A2bcde), a nivel nacional según el D.S. Nº51 del 24 de abril de 2008 del Ministerio del Medio Ambiente (D.S. 51/2008) y a nivel regional en la Región de Coquimbo (Squeo *et al*., 2001).

A pesar de reconocer la disminución de las poblaciones naturales de guayacán, junto con el empobrecimiento de la calidad de los individuos que aún permanecen en pie, existen pocos estudios referentes a los requerimientos ambientales que tiene esta especie, siendo casi inexistentes los referidos a las condiciones edáficas, tanto morfológicas, físicas y químicas, en que se desarrolla guayacán. La importancia de aumentar el conocimiento de estas

características radica en que podrían ser utilizadas como una herramienta para la gestión de la conservación, ya que una comprensión de los factores que determinan, en parte el estado actual de guayacán, establecen las directrices para elaborar propuestas o proyectos enfocados en la conservación de las poblaciones de *Porlieria chilensis.*

En base a lo expuesto es que el presente estudio tiene por objetivo general:

Analizar las características edáficas que poseen los suelos asociados a *P. chilensis* y la posible influencia que ejerce esta especie en la distribución de las propiedades del suelo, contribuyendo con información que permita establecer medidas destinadas a la conservación de guayacán.

Como objetivos específicos se considera:

(1) Caracterizar algunas propiedades físicas, químicas y morfológicas de los suelos asociadas a comunidades de *Porlieria chilensis,* en su distribución en Chile.

(2) Evaluar la influencia de *Porlieria chilensis* en la distribución vertical y horizontal de algunas propiedades edáficas.

(3) En función de la información colectada y analizada, conjuntamente con una revisión bibliográfica de la literatura disponible, con relación a propuestas de conservación de especies arbóreas, se establecerán alternativas de conservación para guayacán.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características de la especie

Porlieria chilensis es una especie endémica de Chile, que posee un crecimiento arbustivo o de pequeño árbol (Rodríguez *et al*., 1983; D.S. 51/2008 del 30 de Julio) y pertenece a la familia Zygophyllaceae, la cual tiene 26 géneros, y alrededor de 250 especies entre árboles y arbustos distribuidos en las regiones calurosas y secas en ambos hemisferios. En Chile, *Porlieria chilensis* se distribuye entre la Región de Coquimbo, provincia de Elqui (29º27´S) y la Región del Libertador General Bernardo O´Higgins, provincia de Colchagua (34º15´S) (Figura 1), desde el nivel del mar hasta los 1.300 m.s.n.m (Hechenleitner *et al*., 2005; Zuloaga *et al*., 2008). Di Castri y Hajek (1976), caracterizan el clima de la zona de distribución de guayacán como una zona de tendencia mediterránea.

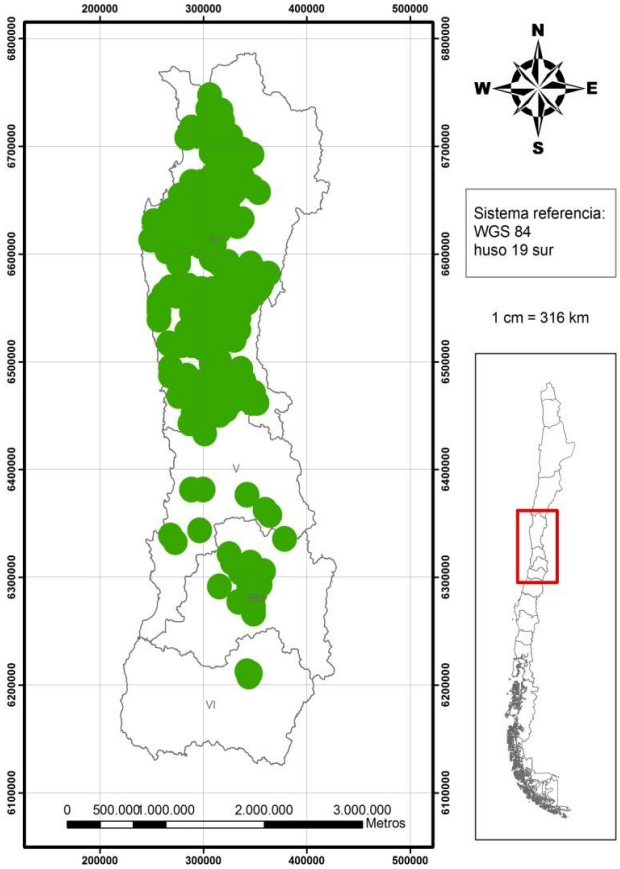


Figura 1: Mapa de distribución de *Porlieria chilensis*

Fuente: Modificado de Hechenleitner *et al*., 2005.

En cuanto a la caracterización vegetacional de los sectores con presencia de guayacán, Gajardo (1994) la incorpora dentro de las regiones vegetacionales del Matorral y del Bosque Esclerófilo caracterizado por la intensa alteración de las comunidades vegetales, tanto que son excepcionales las muestras de la vegetación original. Luebert y Pliscoff (2017), definen al área de distribución de la especie como perteneciente a las formaciones del Bosque caducifolio, Bosque esclerófilo, Bosque espinoso, Matorral bajo de altitud y del Matorral desértico, Matorral esclerófilo y Matorral espinoso.

Las formaciones de guayacán se encuentran generalmente en laderas costeras sobre lugares rocosos, encontrándose la asociación *Porlieria chilensis-Shinus polygamus* (Hechenleitner *et al*., 2005); también en "lugares favorables" de las laderas bajas o en el lecho de las quebradas en que se puede observar junto a *Lithraea caustica*, y en comunidades de desarrollo boscoso, donde las condiciones climáticas son más "favorables" se le encuentra asociada a *Quillaja saponaria* (Gajardo, 1994).

Vita *et al*. (2007), catalogan a la regeneración natural por semillas como prácticamente inexistente para la especie, por lo tanto, la regeneración vía vegetativa se transforma en una opción para mantener y rejuvenecer las poblaciones en las zonas áridas del país. Sin embargo, esta opción no soluciona el actual empobrecimiento que enfrenta esta especie, debiendo ser abordada desde la raíz del problema, el cual son los cambios que ha sufrido el medio producto de las acciones antrópicas. La constante presión antrópica que ha experimentado guayacán durante los últimos años (i.e., utilización de su madera, cambio de uso de suelo y el sobrepastoreo del ganado caprino), han sido los principales factores que han condicionado una disminución progresiva de las poblaciones naturales de esta especie.

2.2 Variables modeladoras del paisaje

En los estudios de vegetación o de distribución de especies se deben considerar factores como; el clima prevaleciente de una región (i.e. temperatura, radiación solar y precipitación), junto con la geomorfología del territorio, ya que éstos actúan como un controlador primario de la distribución de los ecosistemas. Ambos componentes, clima y geomorfología, condicionan los rasgos del suelo, y la vegetación allí presente (Bailey, 2009), al mismo tiempo se genera una interacción entre suelo y vegetación, ocasionando que ambos factores se vean influenciados por las condiciones del otro, generándose la siguiente interrelación:

$$\text{Suelo y Biota} = f(\text{Clima, Geomorfología}) \qquad \text{(Bailey, 2009).}$$

Otro factor de relevancia y que determina el tipo de variables a considerar es la escala de trabajo, ya que dependiendo de ésta, se deben considerar los factores de influencia y dinámica con la vegetación. Así lo demuestra Currie (1991), en su estudio realizado a nivel global sobre la relación existente entre energía solar y la riqueza de especies (animales y vegetales), observando que existe una evidente correlación entre ambas variables y la precipitación que recibe una región. Por otra parte, varios autores hacen referencia a este tema basándose en la teoría "especie-energía", la cual postula que la disponibilidad de energía regula el tamaño de las poblaciones, las tasas de extinción y en última instancia la riqueza de especies (Wright,1983; Wylie y Currie, 1993; Phillips, *et al.*, 2010). Sin embargo, a medida que la escala de investigación decrece la relación entre riqueza de especies y energía incidente disminuye, e incluso puede ser inexistente (Latham y Ricklefs, 1993). Cuando la escala de trabajo es a nivel de paisaje, los factores que determinan la variación de la distribución y la abundancia de especies, en el caso del reino vegetal, se puede relacionar directamente con los factores edáficos (Clark, 2002).

2.3 Interacción Suelo-Planta

El suelo como sistema, proporciona a la planta las condiciones necesarias para su desarrollo y entrega los componentes que necesita (tales como el agua, nutrientes minerales, substancias orgánicas, aire para las raíces y anclaje). La evaluación de estos componentes determina la calidad del suelo, siendo un suelo de buena calidad aquel capaz de cumplir los objetivos de manejo planteados. De esta manera, si se va a evaluar la calidad del suelo con fines de conservación, entonces este concepto será definido como la capacidad que tiene un suelo para funcionar eficazmente como un componente de un ecosistema saludable (Schoenholtz *et al.*, 2000).

Tal como la presencia de diferentes coberturas vegetales está determinada, en parte, por las características edáficas del paisaje, también se ha observado una variación de las propiedades del suelo producto de la presencia de especies vegetales, estos cambios pueden estar dados tanto en el gradiente vertical como horizontal en los suelos, ocasionando muchas veces un enriquecimiento del sustrato bajo el dosel arbustivo, particularmente en ecosistemas áridos y semiáridos, fenómeno denominado como “Isla de fertilidad” (West y Klemendson, 1978). Bajo estas islas existe una estrecha relación entre la distribución horizontal y vertical de los nutrientes del suelo y la distribución, composición y biomasa del material vegetal, (García-Moya

y McKell, 1970). Gutiérrez *et al.* (1993), analizaron la distribución espacial de los nutrientes del suelo donde existía *Porlieria chilensis,* dentro del Parque Nacional Fray Jorge, concluyendo que la conductividad eléctrica, la concentración de nitrógeno, fósforo y materia orgánica fueron significativamente mayores debajo del dosel de arbustos de *P. chilensis* que en sectores descubiertos, encontrándose seis veces más nitrógeno, tres veces más materia orgánica y casi el doble de fósforo, en tanto pH y la concentración de potasio no tuvieron diferencias entre áreas descubiertas y bajo dosel, y observaron también que guayacán tiene la preferencia de crecer en suelos del tipo franco arenoso. Lo anterior, concuerda con lo encontrado por Jobbágy y Jackson (2000), que al analizar la distribución vertical del carbono orgánico del suelo asociándolo a diferentes grupos funcionales de vegetación, observaron que la concentración de carbono disminuye a medida que aumenta la profundidad del suelo. Además, los mismos autores encontraron que los grupos funcionales que concentraban una mayor cantidad de carbono dentro de los primeros 20 cm de profundidad del suelo fueron los bosques, seguido de arbustos y luego de pastizales, mientras que a 1 m de profundidad son los suelos bajo la cobertura de arbustos quienes poseen una mayor concentración de carbono orgánico, manteniendo esta tendencia a los 2 y 3 metros de profundidad. Jackson y Caldwell (1993), analizaron la variación de las propiedades del suelo en el perfil horizontal, concluyendo que existen en algunas de las variables cambios significativos a medida que aumentaba la distancia de medición desde la especie vegetal, como es el caso del pH y la materia orgánica del suelo, siendo estos parámetros los de mayor dependencia espacial en el estudio.

El rol funcional que juegan las formaciones arbustivas en los ecosistemas áridos y semiáridos del país es de gran relevancia para el mantenimiento y funcionamiento de estos sistemas (Gutiérrez y Squeo, 2004). Estas formaciones junto con disminuir el potencial erosivo del viento y la lluvia (Shachak *et al*., 1998), son las encargadas del reclutamiento de nuevas especies vegetales, como así también, de la contribución de biomasa y el aumento en la diversidad de especies (Zonneveld *et al*., 2012). Este fenómeno es comúnmente llamado “efecto nodriza”, y se define como la planta capaz de proveer protección a sus plántulas o a otras especies en un ambiente hostil, mientras ella crece lo suficiente para enfrentar los embates del medio por si misma (Franco y Nobel, 1989; Castro *et al*., 2002; Flores y Jurado, 2003; Gutiérrez y Squeo, 2004). Bajo el dosel de las formaciones arbustivas, se conjugan una serie de procesos que facilitan la llegada de nuevos individuos, dentro de los cuales se encuentra el “levantamiento hidráulico”, el cual es la capacidad que posee una especie vegetal de transportar agua desde estratos profundos y húmedos hacia estratos superficiales y secos (Horton y Hart, 1998), esto

favorece las condiciones microclimáticas a aquellas especies que no podrían existir bajo las condiciones extremas de los ecosistemas áridos y semiáridos del país (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991).

Porlieria chilensis, ha sido documentada por diversos autores como una especie capaz de realizar levantamiento hidráulico y generar las condiciones adecuadas bajo su copa para la llegada y germinación de nuevos individuos (Tracol *et al*., 2011; Muñoz *et al.*, 2008). Otras especies características de las zonas semiáridas del país que también presentan este fenómeno son *Proustia cuneifolia* y *Adesmia bedwelli.*

2.4 Presión antrópica y suelo

La continua presión antrópica que se ha observado durante las últimas décadas ha generado algunos cambios en las características edáficas en mayor o menor intensidad, es así como un factor que cobra relevancia para determinar el efecto que causa sobre los ecosistemas naturales es la inclusión del ganado. Este tipo de perturbación junto con deteriorar los individuos vegetales, quienes les proporcionan forraje y refugio, ocasionan una alteración en algunas propiedades físicas y químicas de los suelos. Zarekia *et al.* (2012), compara el efecto del pastoreo sobre algunas propiedades físicas y químicas, contrastando diferentes escenarios de intensidad de uso, demostrando que con un pastoreo intensivo aumentaba la concentración de P y K en el suelo, así también, ocurre con la conductividad eléctrica, por otra parte, la densidad aparente, contenido de materia orgánica, potasio y pH no presentaron diferencias significativas. Diversos autores mencionan los efectos que puede generar la presencia del ganado en sectores naturales, como la defoliación, pisoteo, defecación y micción (Wilson, 1990; Abensperg-Traum *et al*., 1996; Yates y Hobbs, 1997). Yates *et al.* (2000), investigó el impacto que genera el pastoreo en un bosque de *Eucalyptus salmonophloia,* observando que el impacto generado no solo se produce en la composición y estructura de la vegetación, sino que también, se genera un efecto en la superficie del suelo, en algunas características químicas y físicas del suelo, y propiedades hidrológicas y microclimáticas, mencionando que estas alteraciones pueden tener efectos importantes para la restauración de la diversidad de especies vegetales y estructura de la comunidad del bosque.

Es evidente que ha existido una rápida y acelerada transformación del paisaje en Chile central, especialmente dentro de la Región Metropolitana, ocasionando modificaciones que afectan al equilibrio natural de los ecosistemas allí presentes. Romero y Órdenes (2004) señalan que la rápida expansión urbana de la ciudad de Santiago ha tenido como consecuencia la

contaminación de los suelos, agua y atmósfera, la capacidad de infiltración y retención de humedad de los suelos, la fragmentación de la vegetación e interrupción de corredores para la vida silvestre. Cabe considerar los datos aportados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), que demuestran que Chile se ha convertido en un país predominantemente urbano con más del 87% de sus 15 millones de habitantes que viven en ciudades (INE, 2002).

La mayoría de los centros urbanos se encuentran alrededor de la zona mediterránea, zona reconocida como un hotspot de biodiversidad a nivel mundial, esto por su alto nivel de endemismo y el grado de amenaza a su conservación (Myers *et al*., 2000), a pesar de esto, esta zona se encuentra poco representada dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del estado (SNASPE) (Pauchard y Villaroel, 2002). De acuerdo a lo señalado por Pauchard *et al.* (2006) existen múltiples efectos que genera la urbanización sobre la biodiversidad, un efecto directo es la sustitución del suelo por pavimento y edificaciones, donde las pocas áreas verdes existentes se encuentran dominadas por especies ornamentales no nativas, por otra parte, se determinó que los ecosistemas peri-urbanos están siendo destruidos, fragmentados o invadidos por especies exóticas.

2.5 Rehabilitación de ecosistemas y suelos degradados

La zona centro del país ha sufrido el cambio del paisaje, lo que ha contribuido con el deterioro de los ecosistemas allí presentes y que llaman a implementar medidas destinadas a la mejora de los hábitats degradados, y el control y prevención de la llegada de especies invasoras, ya que el control de estos factores son considerados acciones que contribuyen en la conservación de ecosistemas, refiriéndose éstas a acciones de intervenciones realizadas para alcanzar los objetivos de proyectos de conservación (Salafsky *et al*., 2008). Sin embargo, dado el nivel de intervención y modificación de los ecosistemas terrestres no sólo basta con conservar, sino que también rehabilitar[1] o restaurar[2] (Suding, 2011).

En Chile, prácticamente todos los ecosistemas terrestres de las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas has sido modificadas, y degradadas a tal punto que la restauración del ecosistema en su estructura y funcionamiento a su estado original pasa a ser prácticamente imposible

[1] Rehabilitar: Reparar procesos, productividad y servicios de un ecosistema, enfoque fundamental en los ecosistemas históricos o preexistentes como modelos o referencia (SER 2004)

[2] Restauración ecológica: Ayudar en el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido; a partir de un ecosistema de referencia. Las metas de la restauración incluyen la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema, así como el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad (SER 2004)

(Armesto y Pickett, 1985; Etienne *et al*., 1987; Gastó *et al*., 1990; Sprugel, 1991), de acuerdo a Meneses y Moreno (1993), la rehabilitación de ecosistemas y paisajes como modelo de trabajo para enfatizar la estructura, funcionalidad y productividad se ve como una prometedora estrategia para luchar contra la desertificación y pobreza rural.

La elección de seguir la línea de estrategia de rehabilitación, restauración o reemplazo pasa por tomar en cuenta las relaciones entre cambios de uso del suelo (deforestación) y cobertura boscosa (degradación), en la Figura 2 se muestra un diagrama de estos conceptos, donde la trayectoria de la degradación tiene como punto de inicio un bosque original "Ω" el cual avanza hacia un estado "A", a través de estados intermedios (B_1, B_2, B_3), donde "A" representa un ecosistema totalmente perturbado, convertido a un nuevo uso de suelo. El trayecto comprendido entre "A" y "Ω" representa la "restauración ecológica", proceso a través del cual se pretende llegar al ecosistema original previo a la degradación. La reconstrucción por otra parte se refiere a la restauración del ecosistema bajo usos de suelo distintos al forestal (agricultura, zona urbana, etc.), mientras que la rehabilitación ambiental tiene un punto de inicio en alguno de los estados intermedios (B_1, B_2, B_3), los cuales posee diferente estado de degradación del ecosistema, sin embargo, aún no ha sido modificado su uso de suelo, por lo que la rehabilitación abarca una serie de técnicas que buscan como fin principal restaurar la estructura, composición florística y regímenes de disturbios, logrando revertir el avance de la degradación del ecosistema a estados de mayor complejidad que el actual (Bannister *et al.*, 2016). Respondiendo a la situación actual que presentan las poblaciones de guayacán, donde se genera una creciente presión antrópica, introducción de ganadería y otros factores que generan un deterioro constante en la composición y estructura de estos ecosistemas. Bajo este concepto, es que las acciones silviculturales pasan a formar parte importante para lograr los objetivos propuestos, ya que la silvicultura busca, entre otras cosas, promover la regeneración arbórea alterando las variables bióticas y abióticas que la afectan (luz, nutrientes, agua, cama de semillas, fuente de semillas, etc). Sin embargo, es importante considerar que para el logro de los objetivos de rehabilitación siempre se debe erradicar el agente de degradación del ecosistema (Zamorano *et al*., 2014).

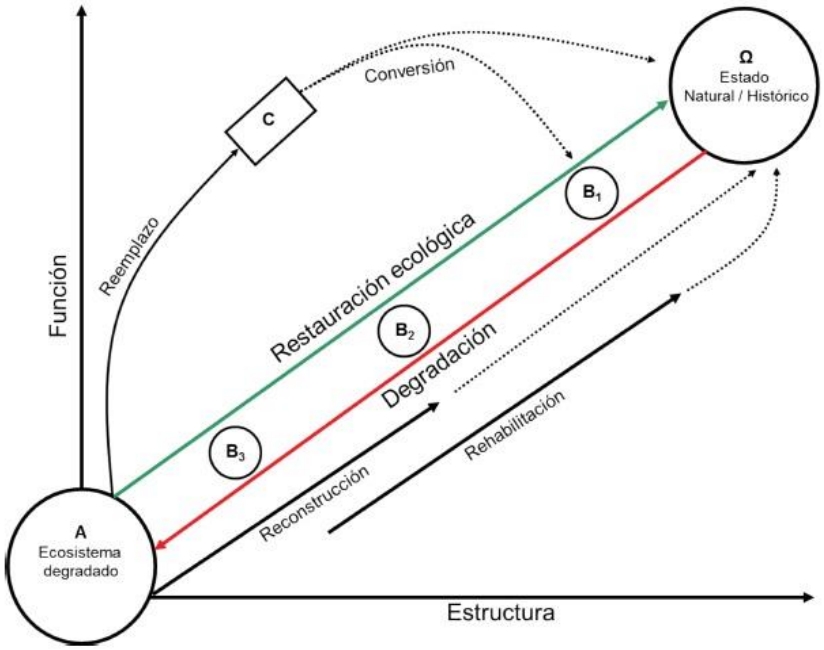


Figura 2: Diagrama conceptual de enfoques asociados al mejoramiento de ecosistemas degradados.

Fuente: Modificado de Bannister (2016).

Si bien las acciones de rehabilitación buscan mejorar la función y estructura de un ecosistema degradado, también este mejoramiento trae consigo beneficios a los suelos presentes, logrando mejorar la calidad que poseen. Esto se puede observar a través del incremento de la materia orgánica, estructura, profundidad y diversidad de microorganismos, entre otros factores.

A partir de los efectos y consecuencias generados por la acción antrópica, es que se han realizado estrategias para recuperar los suelos degradados y así, contribuir con el buen funcionamiento del sistema natural, de manera tal, de favorecer las condiciones ahí existentes. La elección de la estrategia se basa en las características particulares del sitio, como lo son características biofísicas (clima, geología, tipo de suelo, patrones de drenaje, vegetación existente, uso de la tierra) y factores de dimensión humana (demografía, infraestructura, tenencia de la tierra) (Lal, 2014).

La rehabilitación de los suelos degradados genera una serie de beneficios, logrando mejorar la calidad del suelo, así lo demuestran Singh *et al.* (2013), donde indican que la calidad del suelo se incrementa en un 79%, viéndose beneficiado considerablemente la fertilidad de éstos, en cuanto a las variables físico-químicas evaluada, se observó que el pH del suelo, porcentaje de

sodio intercambiable y la relación de adsorción de sodio fueron significativamente más bajos en suelos rehabilitados y suelos no sódicos que en suelos degradados, por otra parte, el carbón orgánico del suelo, nutrientes disponibles, biomasa microbiana y actividad de las enzimas fueron significativamente mayores en estos suelos, en comparación a los degradados. Además Yüksek y Yüksek (2011) demuestran los beneficios que existen al realizar una plantación de especies nativas en los suelos degradados en Turquía, evaluando los resultados 10 años después en un sector semiárido, concluyendo que la inclusión de nuevos individuos al área afectada genera un aumento significativo en variables como la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, disponibilidad de agua para las plantas, conductividad hidráulica, materia orgánica presente en el suelo, nitrógeno total y calcio, mientras que la densidad aparente y la relación C:N fueron significativamente más bajas, concluyendo que la rehabilitación de zonas degradadas en sectores áridos y semiáridos tiene un efecto significativo en la protección y en el ciclo de nutrientes del suelo.

El establecimiento de lineamientos de conservación destinados a mejorar las condiciones actuales de una especie, trae consigo el mejoramiento de las propiedades del suelo, entregando múltiples beneficios al sistema en general, regulando y mejorando los procesos que ahí se generan, como así también, contribuyendo a la conservación de las especies que se pudiesen ver afectadas producto del deterioro de las características edáficas en las que crece, como es el caso de *Porlieria chilensis* (Figura 3).

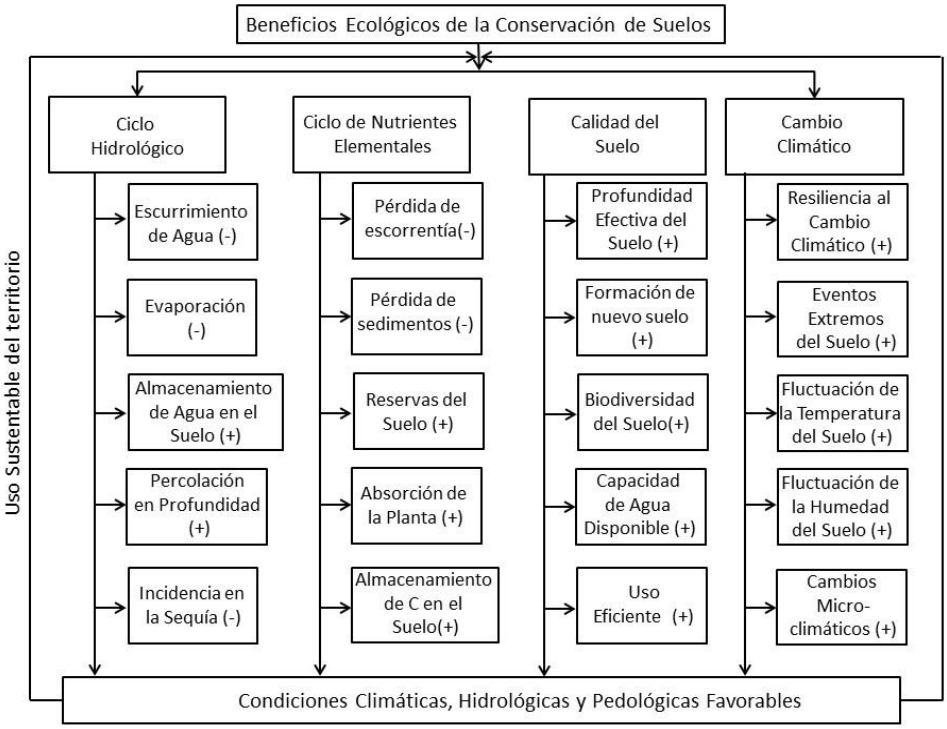


Figura 3: Beneficios ecológicos de la conservación de suelos.

Fuente: Modificado de Lal, 2014.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Material

- Área de estudio

Se consideraron seis localidades de muestreo, con presencia de comunidades vegetacionales donde guayacán forma parte de su composición, procurando abarcar la mayor parte de su distribución en el país.

De esta manera, los puntos de muestreos seleccionados abarcaron cuatro regiones a lo largo de Chile, siendo la Región de Coquimbo la más septentrional y la Región del Libertador Bernardo O´Higgins la más meridional. Y éstos fueron (Figura 4):

1. Centro Experimental Las Cardas: Predio perteneciente a la Universidad de Chile, ubicado en la Región de Coquimbo, Provincia de Elqui, aproximadamente a 37 kilómetros de La Serena (Coordenadas UTM: 279638 E - 6648834 S).

2. Quebrada del Guayacán: Región de Coquimbo, Provincia de Choapa, Comuna de Los Vilos. (Coordenadas UTM: 292425 E - 6465993 S).

3. Cajón de los Valles, Ruta E105G: Límite entre Región Metropolitana y de Valparaíso, camino a Los Andes (Coordenadas UTM: 337019 E - 6353421 S).

4. Camino a Farellones, Región Metropolitana, Provincia de Santiago (Coordenadas UTM: 370819 E - 6305974 S).

5. Ruta G-405: A orillas de Reserva Nacional Río Clarillo, Región Metropolitana de Santiago, Comuna de Pirque (Coordenadas UTM: 359232 E - 6268298 S).

6. Cerro Corredor de Piedra: Cercano a Rancagua, Región del Libertador Bernardo O´Higgins, Provincia de Cachapoal, Comuna de Machalí (Coordenadas UTM: 339563 E-66211575 S).

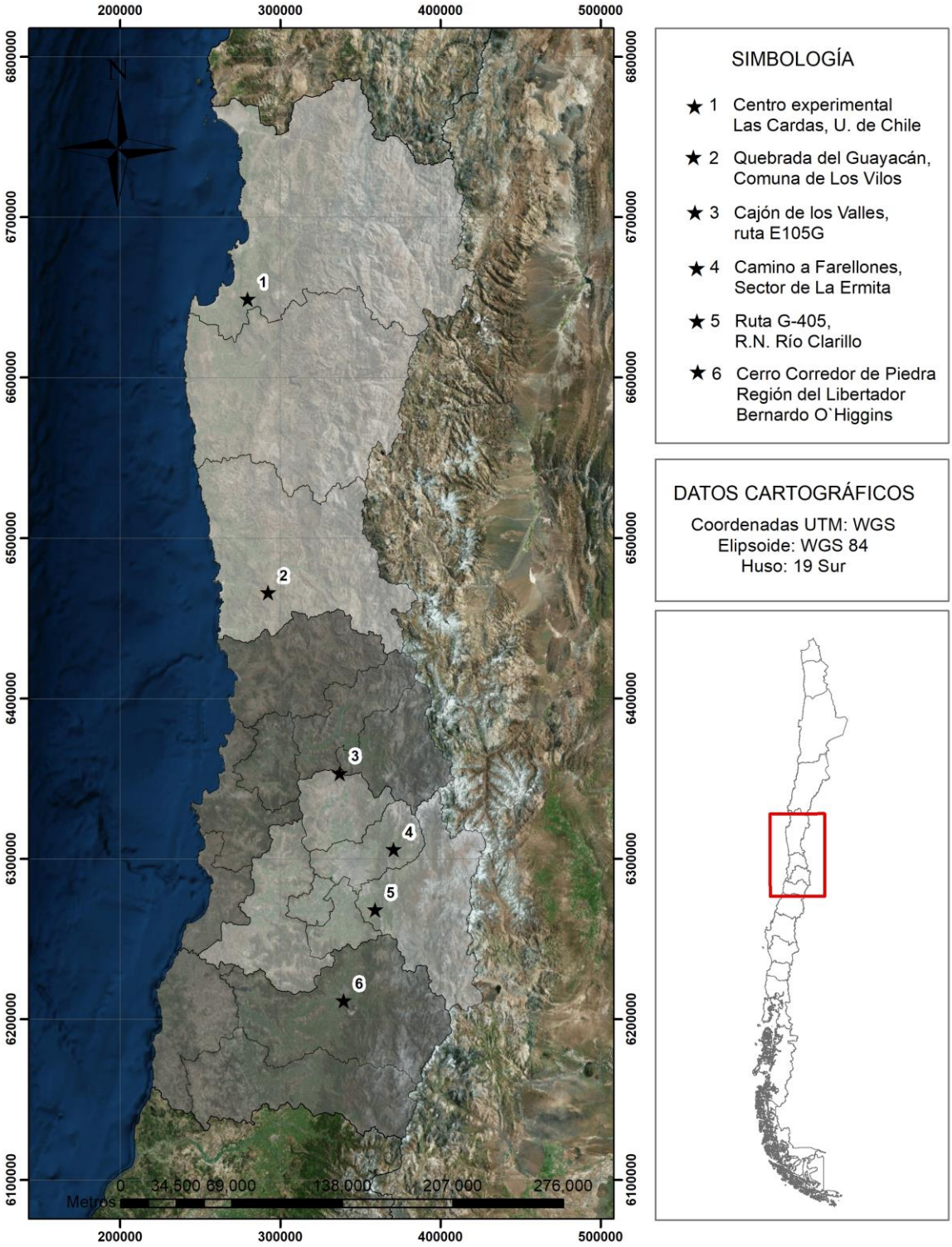


Figura 4: Sectores de estudio.

3.2 Método

3.2.1 Caracterización del paisaje y de las comunidades de *P. chilensis*

Para cada área de muestreo se realizó una descripción de la comunidad y del paisaje en que se desarrolla *P. chilensis,* siguiendo la metodología de descripción del sitio del Natural Resources Conservation Service (NRCS) (Schoeneberger, 2012), donde se entrega una completa pauta de descripción que incluye características climáticas, geomorfológicas y vegetacionales.

En términos de la caracterización de las comunidades de *P. chilensis,* se realizaron parcelas de 500 m^2 con dirección Norte-Sur, donde se consideraron variables como cobertura de copas, altura de copas y altura de los individuos existentes, considerando todas la especies arbóreas, arbustivas y suculentas registradas dentro de las parcelas. También se estudió cada sitio en función de la geología y características climáticas, para ello, se utilizaron mapas geológicos de los sectores a escala 1:1.000.000, y mapas de precipitaciones (Isoyetas) y temperatura (Isotermas), analizando sus diferencias y similitudes. La información para los mapas de isoyetas e isotermas fueron obtenidos a través de la base de datos de Worldclim, plataforma que registra datos climáticos de todo el planeta con una resolución de 1 km.

Mientras que, para la caracterización del paisaje se consideraron variables como pendiente, exposición, altitud y rasgos geomorfológicos.

3.2.2 Descripción morfológica de los suelos

Se efectuó una descripción morfológica de cada horizonte identificado a lo largo de los perfiles edáficos, en cada localidad de estudio, para esto se realizó una calicata bajo cobertura de individuos de guayacán y otra fuera de cobertura (claros), ambas localizadas dentro de un área representativa del sector. Para estas descripciones se utilizaron los criterios establecidos por NASIS perteneciente a NRCS (Schoeneberger *et al*., 2012), que recomiendan registrar variables como horizontes existentes y sus espesores, límite de los horizontes (definición y topografía), textura superficial y en profundidad, estructura, color, consistencia, raíces (cantidad, tamaño y ubicación) y rocas, para cada horizonte registrado.

3.2.3 Colecta de muestras de suelo y hojarasca

Se colectó material edáfico y de hojarasca (de existir), en las diferentes localidades de estudio, donde se extrajeron muestras representativas de los sectores bajo cobertura de guayacán,

como así también, en lugares desprovistos de vegetación arbórea y arbustiva (claros). Para la extracción de hojarasca se utilizó un marco de 25x25 cm en donde se extrajo la hojarasca existente dentro de esa superficie.

Para este efecto se tomaron 12 muestras de suelo, seis de ellas bajo la copa de guayacanes y otras seis en sectores de claro. Cada punto de muestreo realizado bajo las copas tuvo asociado un punto de muestreo localizado fuera de ésta con una distancia mínima de seis metros; estableciendo también una distancia mínima entre puntos de muestreo bajo cobertura de copas de 50 metros, las distancias mínimas establecidas se definieron para obtener valores independientes entre puntos de muestreo (Figura 5).

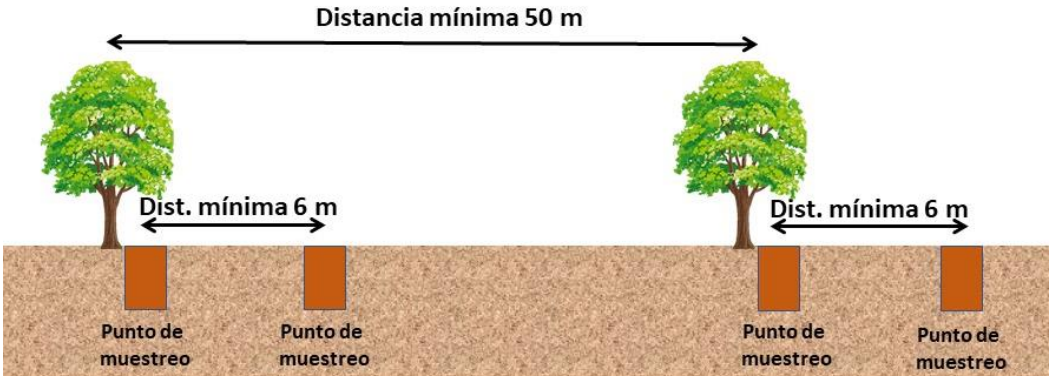


Figura 5. Esquema de recolección de muestras de suelo

Los puntos de muestreo consideraron *a priori* un rango de profundidad de muestreo entre los 0 y 30 cm, discriminando en función de los horizontes encontrados. Una vez obtenidas las muestras de suelos se almacenaron por separado dentro de bolsas de polietileno de baja densidad y en contenedores de tereftalato de polietileno (PET), siendo rotuladas con el sitio de muestreo, lugar de extracción (bajo cobertura o en claro), punto de muestreo y profundidad de extracción.

3.2.4 Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo se analizaron en el laboratorio de Ecología de Suelos Ventura Matte de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza a través de los métodos correspondientes, los cuales se detallan a continuación.

3.2.4.1 Análisis químico

- Acidez del suelo

La determinación del pH se realizó según Sadzawka *et al.* (2006), para lo cual, se preparó una suspensión de suelo y cloruro de calcio 0,01 mol/L, en proporciones de 1:2,5 y posterior determinación de esta variable con un medidor de pH.

- Contenido de materia orgánica

Se determinó por oxidación de la materia orgánica, utilizando una mezcla de dicromato y ácido sulfúrico, y posteriormente midiendo la colorimetría del cromato reducido, siguiendo el protocolo establecido por Sadzawka *et al.* (2006).

- Nitrógeno total del suelo

El nitrógeno total del suelo se obtuvo por el método de digestión de Kjeldahl con ácido sulfúrico, ácido salicílico y una mezcla catalítica de sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de titanio, y posterior destilación del NH_3 por arrastre de vapor y determinación por titulación del destilado obtenido (Sadzawka *et al.,* 2006).

- Fósforo disponible en el suelo

Para determinar la cantidad de fósforo disponible en el suelo, se utilizó el método P- Olsen, donde el fósforo disponible se extrajo desde la muestra de suelo con una solución de bicarbonato de sodio a pH 8,5 y posterior determinación colorimétrica mediante el método de azul de molibdeno usando ácido ascórbico como reductor (Sadzawka *et al*., 2006).

- Nitrógeno disponible

Para la obtención de la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo, se realizó el método de extracción con KCl 2 M/L, destilación de NH_3 y determinación por titulación (Sadzawka *et al*., 2006).

- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica, se obtuvo a través de la elaboración de una pasta de suelo saturada con agua y posteriormente filtrada al vacío. Este método proporciona la medida más

representativa del total de sales solubles en el suelo debido a que se relaciona estrechamente con los contenidos de agua del suelo, bajo condiciones de campo (Sadzawka *et al*., 2006).

3.2.4.2 Análisis físico

- Determinación de la Densidad aparente y distribución del tamaño de partículas

Para la densidad aparente se aplicó el método del terrón (Grossman *et al*., 2002), donde un agregado fue evaluado en términos de masa y volumen, utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_b = m_s / V_t$$

Donde:

ρ_b = densidad aparente de la muestra del suelo

m_s = masa del agregado seco a 105^0 C

V_t = volumen total del agregado

La distribución del tamaño de partículas (textura), se obtuvo a través del método de la sedimentación de partículas o densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1936), donde muestras de masa conocida fueron sometidas a la acción de un agente dispersante y agitación mecánica, para poder medir, posteriormente, la densidad de la suspensión suelo-agua a través de un hidrómetro calibrado. Las lecturas entregadas por el hidrómetro a diferentes intervalos de tiempo permiten calcular los porcentajes de las diferentes fracciones de suelo. Finalmente, y con estos resultados se determina la clase textural a través del triángulo textural del USDA (Soil Survey Staff, 1993).

- Estimación de la curva característica de humedad del suelo y conductividad hidráulica

Estos parámetros fueron estimados de forma indirecta utilizando el modelo SPAW (United States Department Agriculture (USDA)). Este modelo calcula la tensión de la humedad del suelo basándose en algunas propiedades físicas de éste como, textura, materia orgánica (%), grava (%), salinidad (dS/m).

3.2.5 Análisis de la información

Para el análisis de las propiedades físicas, químicas y morfológicas de los suelos, en las comunidades de estudio, se realizó un análisis de medidas de tendencia central y dispersión de cada una de las variables evaluadas. De manera adicional, los perfiles de suelo fueron contrastados de a pares en términos de disimilitud (pair-waise disimilarity), mediante la generación de “cluster” jerárquicos y creación de dendrogramas (análisis de cluster) en función de las propiedades descritas en las descripciones morfológicas de suelo.

Para la evaluación de la influencia de *P. chilensis,* sobre las propiedades del suelo analizadas, se realizó un análisis de varianza entre los sectores bajo cobertura de *P. chilensis* y sin cobertura (pH, contenido de MO, fósforo disponible, nitrógeno total y disponible, conductividad eléctrica, densidad aparente, textura, conductividad hidráulica saturada y retención de agua a 0,3 y 1,5 MPa) entre las localidades de estudio y entre coberturas (con cobertura de *P. chilensis* y sin cobertura de vegetación (claro)).

La normalidad de la distribución de los datos y la homogeneidad de varianza fueron testeadas con las pruebas de Shapiro Wilk y Levene, respectivamente. Todos estos análisis fueron realizados con el software estadístico RStudio (versión 1.0.136)

En algunos casos no se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, por lo que para estas situaciones se utilizó un método no paramétrico, evaluando el que mejor se ajuste a los datos, el cual fue kruskal wallis.

Finalmente y para responder al tercer objetivo específico propuesto, se realizó una revisión de la literatura relacionada con las medidas y acciones realizadas en especies vegetales para su conservación, de esta manera se pretende proponer medidas de conservación de guayacán, con la finalidad de entregar una mejor calidad de información de *P. chilensis* y su posible implementación en un futuro.

4. RESULTADOS

4.1 Clima general de las áreas de estudio

Para cada sector de estudio se obtuvo los datos de temperatura (°C) y precipitación (mm) mensual, con esta información se construyeron los diagramas ombrotérmicos de Gaussen-Walter (Figura 6), en ellos se pueden observar los períodos de sequía (área punteada), generados cuando la curva de precipitación pasa por debajo de la curva de temperatura, períodos de humedad (representado por líneas verticales) y períodos de superávit (representados en color azul).

Como se observa en la Figura 6, el sector de Las Cardas presenta un periodo de sequía en gran parte del año (entre los meses de agosto a mayo), mientras que los meses de junio y julio apenas alcanzan un periodo de humedad. A medida que los puntos de muestreo se localizan hacia el sur, la cantidad de agua precipitada y los meses del año donde ésta ocurre va aumentando y disminuyendo los meses de sequía, encontrándose incluso, periodo de superávit (situación que ocurre en los sectores de Camino a Farellones, Río Clarillo y Cerro Corredor de Piedra).

También, se elaboraron mapas de Isoyetas e Isotermas para observar los sectores que presentan un mismo rango de precipitación (mm) y temperatura (ºC), en un periodo de tiempo determinado (Figura 7), el mapa de Isoyetas muestra que los sectores de Las Cardas y Quebrada del Guayacán poseen condiciones de precipitación anual no superior a los 280 mm. Las zonas que mayor precipitación anual corresponden a Camino a Farellones, Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra, con rangos de precipitación que oscilan entre los 550 y 830 mm anuales. A nivel general, los sectores del valle de la zona central presentan una precipitación relativamente similar, incrementándose hacia los sectores cordilleranos. Situación similar ocurre al observar el mapa de isotermas (Figura 7), donde los puntos de muestreo localizados en la zona del valle central presentan condiciones de temperatura media de escaza variación. A nivel general, es posible observar que las poblaciones de guayacán se distribuyen en sectores donde existe una precipitación anual entre los 0 a 830 mm y temperaturas medias entre los 4,8 y 16ºC, siendo una especie capaz de resistir largos periodos de sequía.

En función de las características climáticas es posible definir los regímenes de humedad del suelo, observando que el sector de Las Cardas posee un régimen del tipo árido o tórrico,

caracterizado por tener largos periodos de sequía y poseer menos de 90 días consecutivos de humedad en el suelo. Para el resto de las localidades de estudio se observa un régimen de humedad del tipo xérico, propio de las zonas mediterráneas del planeta, el cual posee un largo periodo de humedad en la época invernal y periodos secos en época estival, en ambas situaciones superando los 45 días consecutivos de humedad en el suelo. Otra característica de los sectores xéricos es que la temperatura media anual es inferior a 22°C y la variación entre la temperatura media de verano e invierno debe ser igual o mayor a 6°C a una profundidad del suelo de 50 cm.

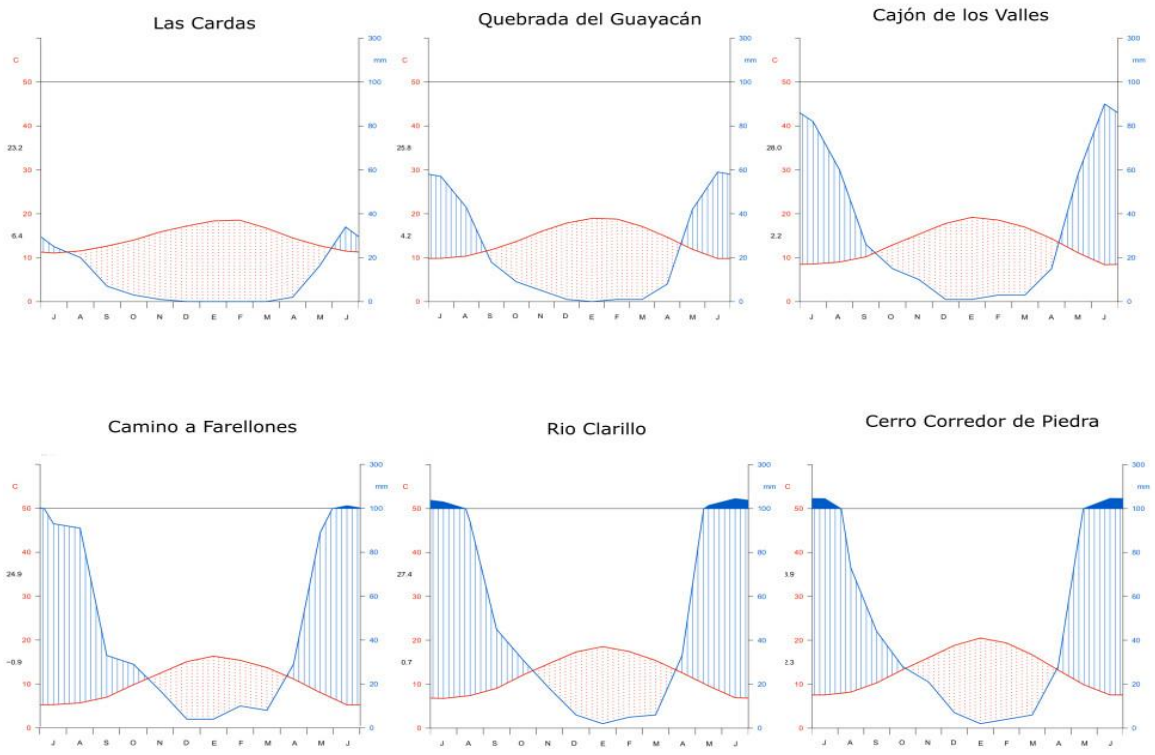


Figura 6: Diagramas ombrotérmicos para las diferentes localidades de estudio.

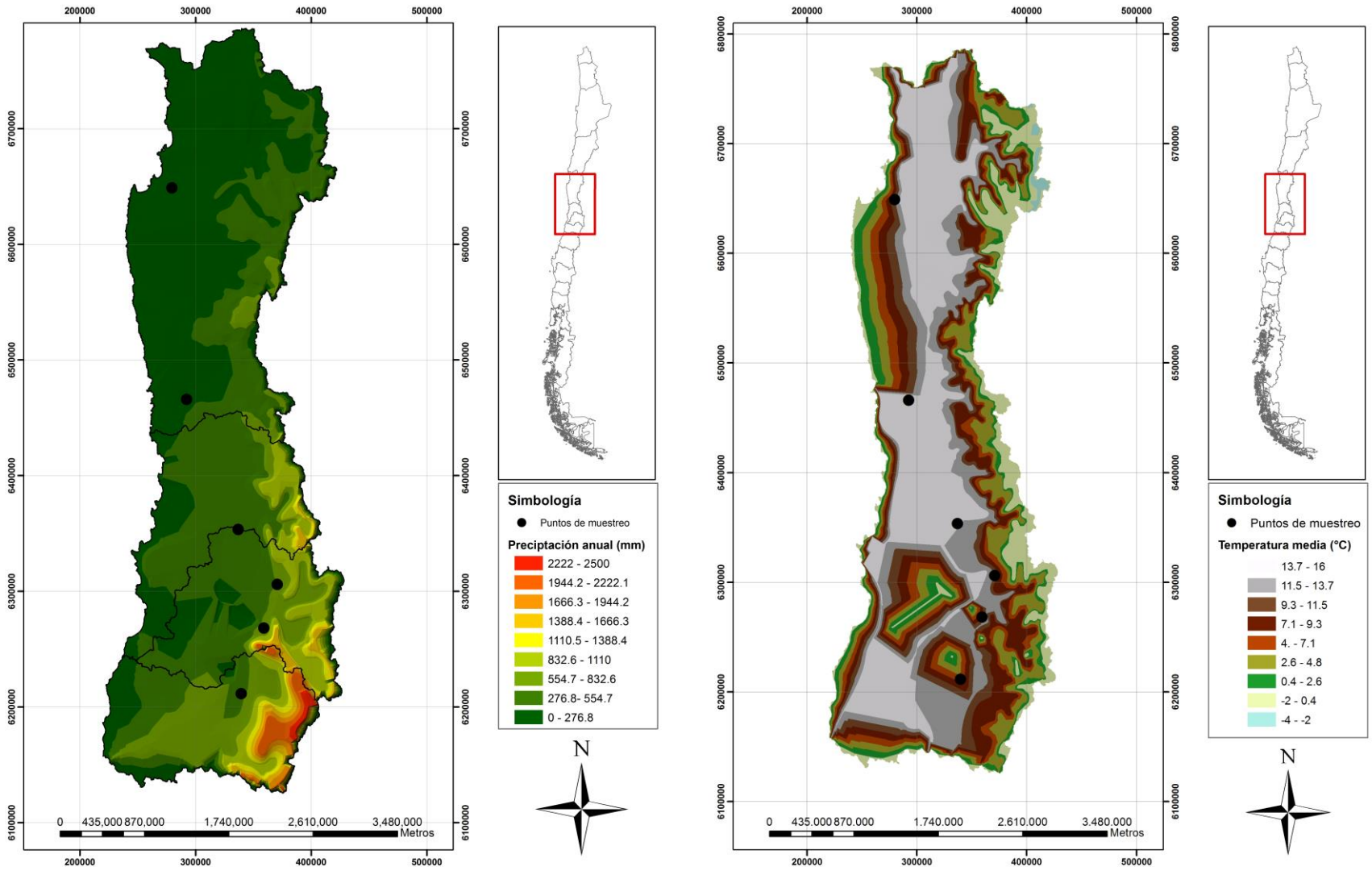


Figura 7: Mapa de Isoyetas e Isotermas para las zonas de estudio basados en datos de la Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) del Ministerio de Bienes Nacionales.

4.2 Geología y geomorfología

Las poblaciones de estudio se encuentran localizadas principalmente en sectores de ladera de cerros, como es el caso de Cajón de los Valles, Camino a Farellones y el Cerro Corredor de Piedra, sin embargo, también es posible encontrarlas en sectores de piedmont, depósitos aluviales y conos aluvial, como en Las Cardas, Quebrada del Guayacán y Rio Clarillo, respectivamente.

Los sectores muestreados se encuentran en áreas que tienen una baja a moderada pendiente, siendo el sector de Rio Clarillo el que tiene la menor pendiente observada (sector de planicie), luego es el sector de Las Cardas con una pendiente inferior a 10%, mientras que el sector de Quebrada del Guayacán se encontró en un sector con pendiente no superior a 25%, siendo los sectores de Cajón de los Valles, Camino Farellones y Cerro Corredor de Piedra los que presentaron la mayor pendiente, siendo cercana a los 70%.

El material de origen de los sectores de estudio fue variable, pudiéndose determinar que el sector de Las Cardas proviene de material sedimentario de origen granitoídeo, para Río Clarillo de origen aluvial, mientras que para el resto de las localidades el material de origen es volcano-sedimentario (Tabla 1), por otra parte, si se analizan los sectores en función de su origen geológico, es posible observar que Las Cardas proviene de Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita del Jurásico medio-superior, principalmente, mientras que Quebrada del Guayacán, dadas sus características, proviene de depósitos aluviales y coluviales de remoción en masa derivadas de secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte del pleistoceno-holoceno, por otra parte, el sector del Cajón de los Valles proviene de secuencias volcanosedimentarias continentales del cretácico superior, y el sector de Camino Farellones de Secuencias volcanosedimentarias del periodo Oligoceno-Mioceno, finalmente, el material geológico de origen de los sectores de Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra son provenientes de depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa del Pleistoceno-Holoceno (Tabla 1).

Tabla 1: Principales características del paisaje de cada localidad de estudio.

	Las Cardas	**Quebrada del Guayacán**	**Cajón de los Valles**	**Camino a Farellones**	**Rio Clarillo**	**Cerro Corredor de Piedra**
Altitud (msnm)	340	378	1.050	1.230	790	560
Pendiente	<10%	<25%	<70%	<70%	<1%	<70%
Exposición	NE	NE	NO	NE	N	SO
Forma de la Pendiente[1]	VL	CV	VV	VL	LL	VL
Posición de la ladera[2]	FS	TS	BS	BS	TS	BS
Componente geomorfológico[3]	BS	BS	BS	SS	BS	SS
Material parental	Granítico	Volcano-sedimentario	Volcano-sedimentario	Volcano-sedimentario	Aluvial	Volcano-sedimentario
Pedregosidad	Extremadamente Pedregoso (5-10%)	Escombroso (20-30%)	Escombroso (20-30%)	Escombroso (5-20%)	Extremadamente Pedregoso (5-15%)	Escombroso (15-20%)
Geología del sector[4]	Jsg	Q1	Ks2c	OM2c	Q1	Q1

1: Según clasificación de USDA, la pendiente se evalúa en función de dos direcciones: perpendicular y paralela a la curva de nivel, pudiendo ser: L: Lineal, V: Convexo, C: Cóncavo.

2: Según clasificación de USDA: SU: Cima, SH: Hombro de ladera, BS: Pendiente superior FS: Pendiente inferior, TS: Base de la pendiente.

3: Según clasificación de USDA, descriptor geomorfológico tridimensional de las formas del relieve aplicada a cada área de estudio, siendo: IF: Interfluvio, HS: Cabecera de la pendiente, NS: Frente de la pendiente, SS: Flanco de la pendiente y BS: Base de pendiente.

4: Origen geológico (extraído del mapa geológico de Chile):

Q1: Pleistoceno-Holoceno: Depósits aluviales, coluviales y de remosión en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la depresión central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

OM2c: Oligoceno-Mioceno: Secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. En la cordillera principal, regiones I a IX: formaciones Lupica, Escabroso, Abanico, Coya-Machalí, Curallín (inferior).

Ks2c: Cretácico Superior: Secuecias volcanosedimentarias continentales: rocas epiclásticas y piroclásticas riolíticas, lavas andesíticas y traquíticas. En la precordillera, región I a III: formaciones Quebrada Mala, Llanta, Hornitos; en las regiones IV a Metropolitana: formaciones Quebrada Seca, Viñita (oriental), Los Elquinos y Lo Valle.

Jsg: Jurásico Medio-Superior (180-142 Ma): Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda. En la Cordillera de la Costa, regiones I a VI; en la Cordillera principal, regiones X y XI: Plutón Panguipulli y borde oriental del Batolito Norpatagónico; en la península Antártica.

4.3 Análisis general de la vegetación en los sectores de estudio

La vegetación predominante de los sectores de estudio corresponde a especies arbóreas y arbustivas propias del tipo forestal del bosque esclerófilo, con la presencia de *Porlieria chilensis*, *Acacia caven*, *Lithraea caustica*, *Baccharis linearis, Proustia cuneifolia* y *Trichocereus chiloensis,* principalmente.

En cuanto a la clasificación vegetacional propuesta por Gajardo (1994), se establece que el sector de Las Cardas se encuentra dentro de la región del desierto del pacífico y dentro de la formación del matorral estepario costero. El resto de las localidades de estudio se encontraron dentro de la región del matorral y del bosque esclerófilo. Para los sectores de Quebrada del Guayacán y Cajón de los Valles se encuentran dentro de la formación vegetacional del matorral espinoso de las serranías, los sectores de Camino a Farellones, Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra a la formación vegetacional del bosque esclerófilo andino.

El sector de Las Cardas corresponde a un sector de exclusión de ganado, observándose un cerco perimetral alrededor de la población de *P. chilensis,* este hecho favoreció que, a nivel general, los individuos de guayacán se encontraran en buen estado, siendo individuos de gran tamaño y copas prominentes, considerando la escasez hídrica que existe en el sector (Figura 8).

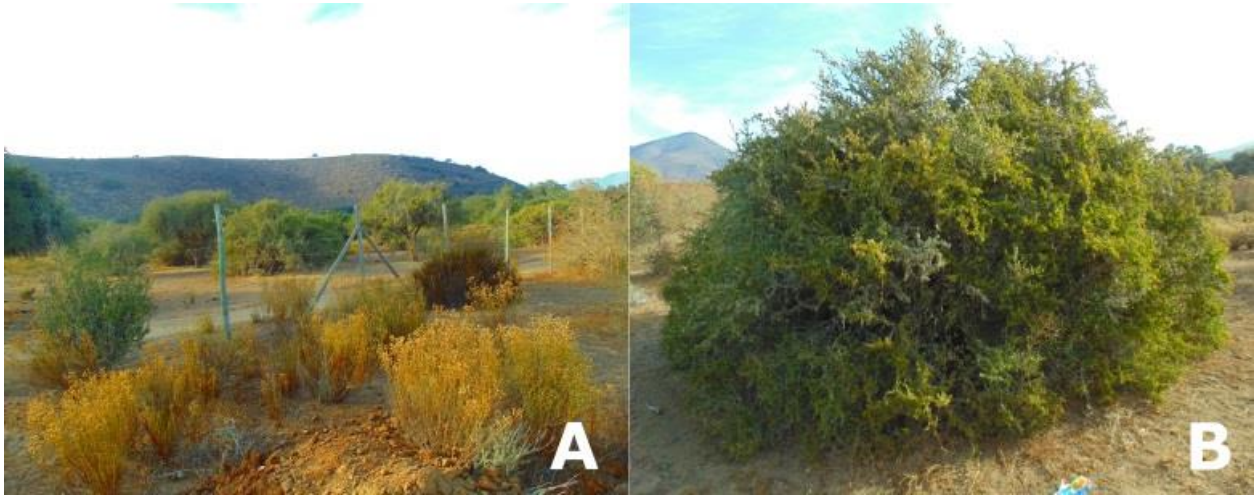


Figura 8: Cerco perimetral (A) y estado de algunos individuos de *P. chilensis* en el sector de Las Cardas, Región de Coquimbo (B).

En el resto de las localidades de estudio, se observó la presencia de ganado caprino y bovino, ya sea por la misma presencia de animales como de sus fecas (Figura 9), esto generó que se

encontraran algunos individuos de guayacán con evidentes signos de ramoneo y habilitación de sus copas para resguardo. Sin embargo, la mayoría presentó buenas condiciones fitosanitarias, con un follaje frondoso, denso, que se iniciaba desde una baja altura (Figura 9).

Figura 9: Individuos de *P. chilensis* encontrados en las diferentes áreas de estudio. Imagen inferior derecha muestra fecas presentes bajo la copa de guayacán.

A nivel general, se observó una erosión moderada del tipo laminar, siendo casi inexistente la presencia de cárcavas y grietas en los diferentes sectores de estudio, en contraste, fue abundante la presencia de pedregosidad superficial o afloramientos rocosos, donde en el sector de Cajón de los Valles fuel el lugar que tuvo un mayor grado de estos factores (20-30% de pedregosidad superficial y 30-45% de afloramientos rocosos) (Figura 10 y Tabla 1).

Figura 10: Pedregosidad superficial y afloramientos rocosos, sector Cajón de los Valles.

4.3.1 Análisis estructural de las comunidades de guayacán investigadas

Para la cuantificación de la vegetación existente en los sectores de estudio se realizó una parcela donde se consideró incorporar especies arbóreas, arbustivas y suculentas, dado principalmente por el grado de participación que presentaban en la composición florística del lugar.

El sector de Las Cardas es el lugar que mayor densidad de individuos tuvo, mientras que el sector de Cajón de los Valles fue el sector con la menor densidad. Generalmente, los individuos de guayacán se encontraban en buenas condiciones, con follaje denso que en muchas ocasiones llegaban hasta el piso, impidiendo que animales de gran tamaño ingresaran bajo sus copas. A pesar de observar este tipo de individuos, no fue posible encontrar regeneración natural por semillas de *P. chilensis* en ninguno de los evaluados.

En cuanto a la presencia de la vegetación total se puede observar que los sectores de Las Cardas y Camino a Farellones fueron los lugares con la mayor densidad (Figura 11), en el caso de Las Cardas, guayacán fue la especie dominante, presentando una densidad del 50% del total, mientras que en Camino a Farellones, la densidad de guayacán con respecto al total de plantas disminuyó notablemente (16,7% de participación) siendo reemplazada por *Acacia caven*, la cual fue la especie dominante de la parcela.

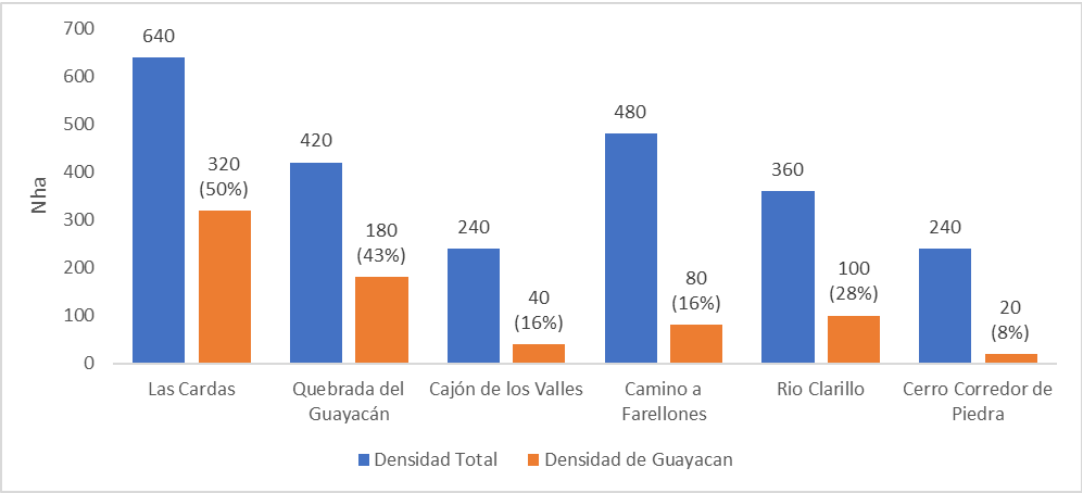


Figura 11. Densidad total y de individuos de *P. chilensis* por sector de estudio. Valores en % indican el nivel de participación de *P. chilensis* con respecto al total de individuos.

A pesar de que el sector del Cajón de los Valles fue el lugar con una menor densidad, tanto de guayacán como de la vegetación total, fue el lugar que presentó el mayor número de especies, con un total de siete especies diferentes, presentando hábitos de crecimiento arbóreos, arbustivos y suculentos. Por otra parte, los sectores de Camino a Farellones y Cerro Corredor de Piedra sólo registraron cuatro especies diferentes, siendo los de menor variabilidad florística. Esto puede ser corroborado a través del análisis de biodiversidad de Shannon-Weiner, este índice toma en cuenta dos componentes de la diversidad los cuales son el número de especies, y la equitatividad o uniformidad de la distribución del número de individuos en cada especie; de acuerdo con esto, un mayor número de especies y una mayor uniformidad incrementa la diversidad de un sector. Para el sector de Cajón de los Valles el índice de Shannon fue de 2,69 correspondiendo a un lugar diverso (considerando que el valor máximo alcanzable es de 5 aproximadamente), por el contrario, el sector de Camino a Farellones, a pesar de tener la segunda mayor densidad de individuos, fue la que presentó el menor índice de Shannon con 1,39. El resto de los sectores obtuvieron índices relativamente similares, los cuales variaron de 1,9; 2,16; 2,11 y 1,86 para Las Cardas, Quebrada del Guayacán, Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra, respectivamente.

Conjuntamente con el análisis de diversidad, es posible observar una tendencia en densidad de individuos de guayacán que aumenta desde sur a norte, siendo el sector de Las Cardas el lugar de estudio con la mayor riqueza de esta especie. Esto demuestra que guayacán es capaz de crecer y desarrollarse en sectores semiáridos con periodos prolongados de sequía, no siendo un factor limitante para el establecimiento de esta especie.

Las Figuras 12, 13 y 14 muestran las estructuras verticales y horizontales de cada sitio de estudio. La Figura 12 muestra las estructuras del sector de Las Cardas y Quebrada del Guayacán. En el sector las Cardas es posible observar que los individuos de guayacán presentan una gran variabilidad de tamaños y cobertura, encontrándose individuos desde 0,5 a 4,4 m de altura; también es la especie que tiene la mayor dominancia del rodal, cubriendo aproximadamente el 12% de la superficie de muestreo (la cobertura total de la vegetación muestreada fue de 21.1%). El sector de Quebrada del Guayacán presenta igual número de especies arbustivas que arbóreas, siendo el que presenta el mayor número de individuos *Porlieria chilensis,* sin embargo, los que poseen la mayor cobertura de copas son *Schinus latifolius* y *Retanilla trinervia* con 26,2 y 14,9% de cobertura, respectivamente. La cobertura total de la vegetación muestreada rodea el 48,6%, siendo la unidad de muestreo de mayor cobertura.

La Figura 13 muestra las estructuras del sector del cajón de Los Valles y Camino a Farellones. Ambas localidades tienen la presencia de la especie *Trichocereus chiloensis*. Para el sector del Cajón de los Valles los individuos presentaron claros indicios de ramoneo y utilización de copas para resguardo por parte de animales de ganadería. *Acacia caven* fue la especie que presentó la mayor densidad, sin embargo, la dominancia de cobertura la posee litre con un 11,9% ya que sus individuos presentaron copas frondosas y de gran diámetro. La vegetación total registrada abarcó un total de 21% de cobertura arbórea. Para el sector de Camino a Farellones, los individuos son de gran tamaño y copas frondosas. Sin embargo, las actividades ganaderas y agrícolas son evidenciables dentro del área. La dominancia del rodal estuvo dada por *Acacia caven* con un 8,3% de cobertura.

La Figura 14 muestra las estructuras para los sectores de Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra, en ella se puede observar que el sector de Rio Clarillo presentó en su gran mayoría especies de hábito arbóreo de gran tamaño, logando alcanzar alturas de hasta 4,5 m aproximadamente y en estado adulto, monofustales con copas de hasta 4 m de diámetro. La dominancia de copas la obtuvo *Porlieria chilensis* y *Lithraea caustica* con un 6,4 y 6,3% de cobertura, respectivamente. Por otra parte, en el sector del Cerro Corredor de Piedra fue escasa la presencia de *P. chilensis*. Los pocos individuos encontrados poseían alturas y copas de gran tamaño, diferenciándose de la vegetación existente en término de sus frondosas copas. La dominancia del rodal la obtuvo *Acacia caven* con un 5,6% de cobertura de un total de un 11,2% de cobertura total.

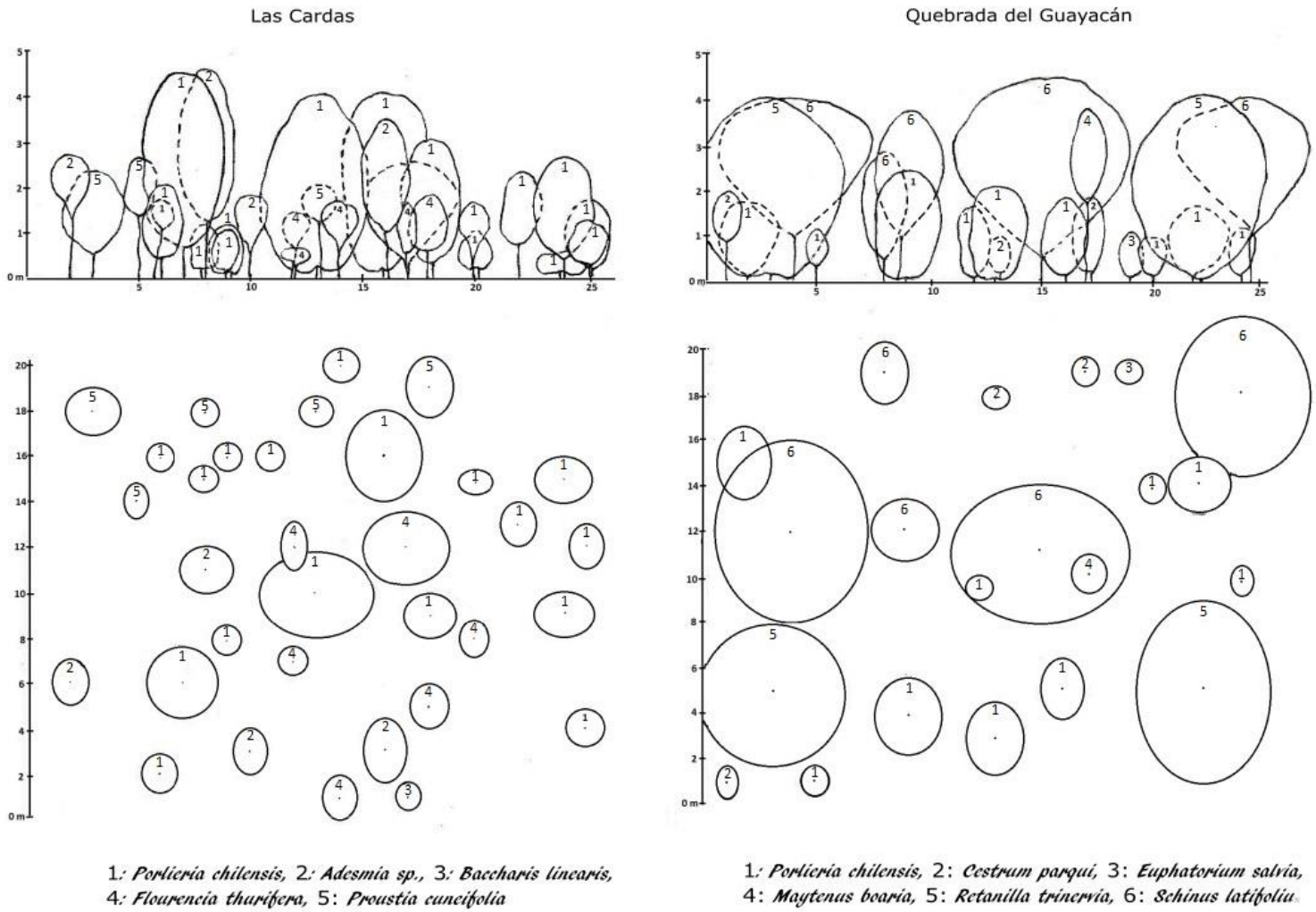


Figura 12. Estructura vertical y horizontal, sector Las Cardas y Quebrada del Guayacán.

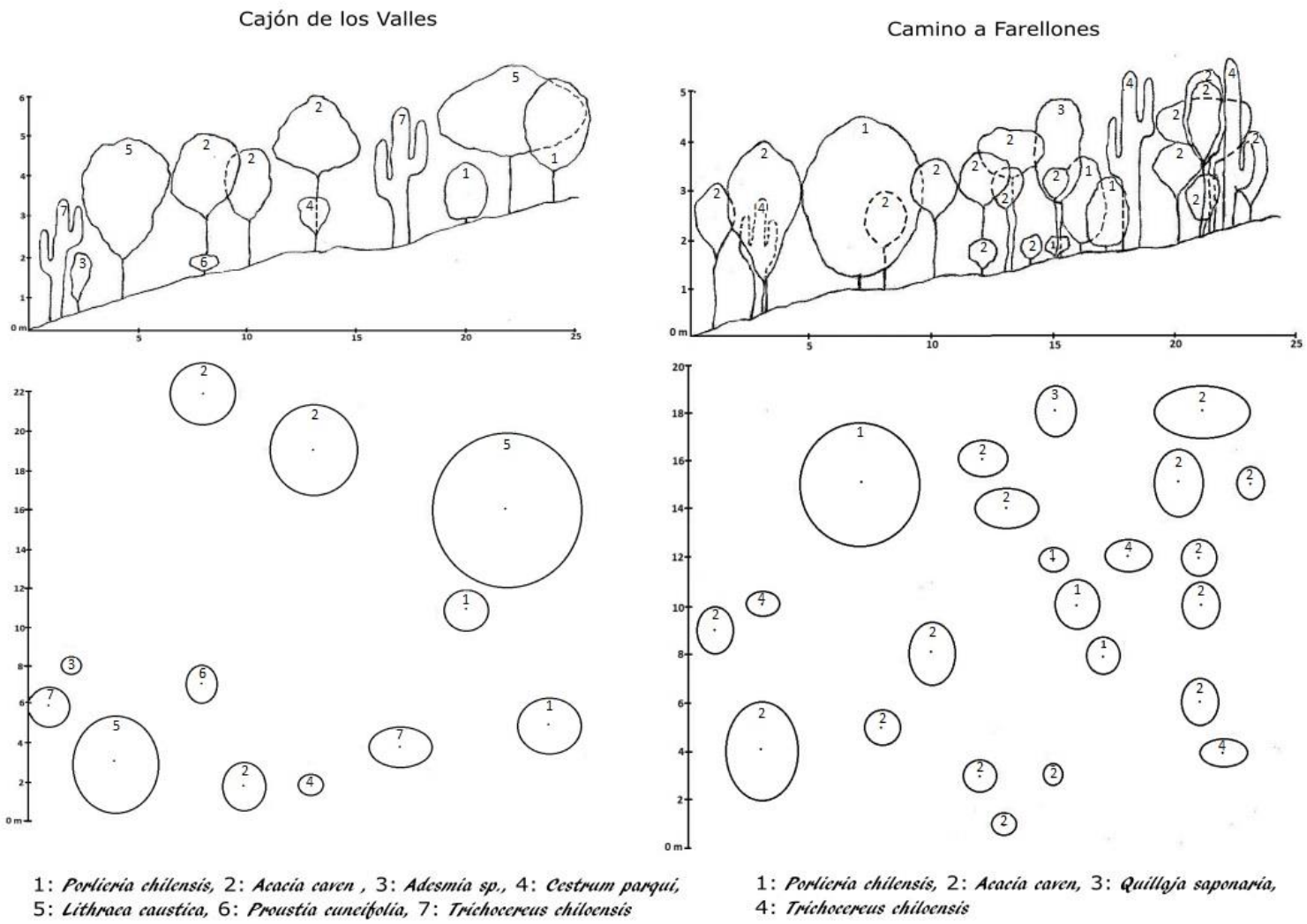


Figura 13. Estructura vertical y horizontal, sector Cajón de los Valles y Camino a Farellones.

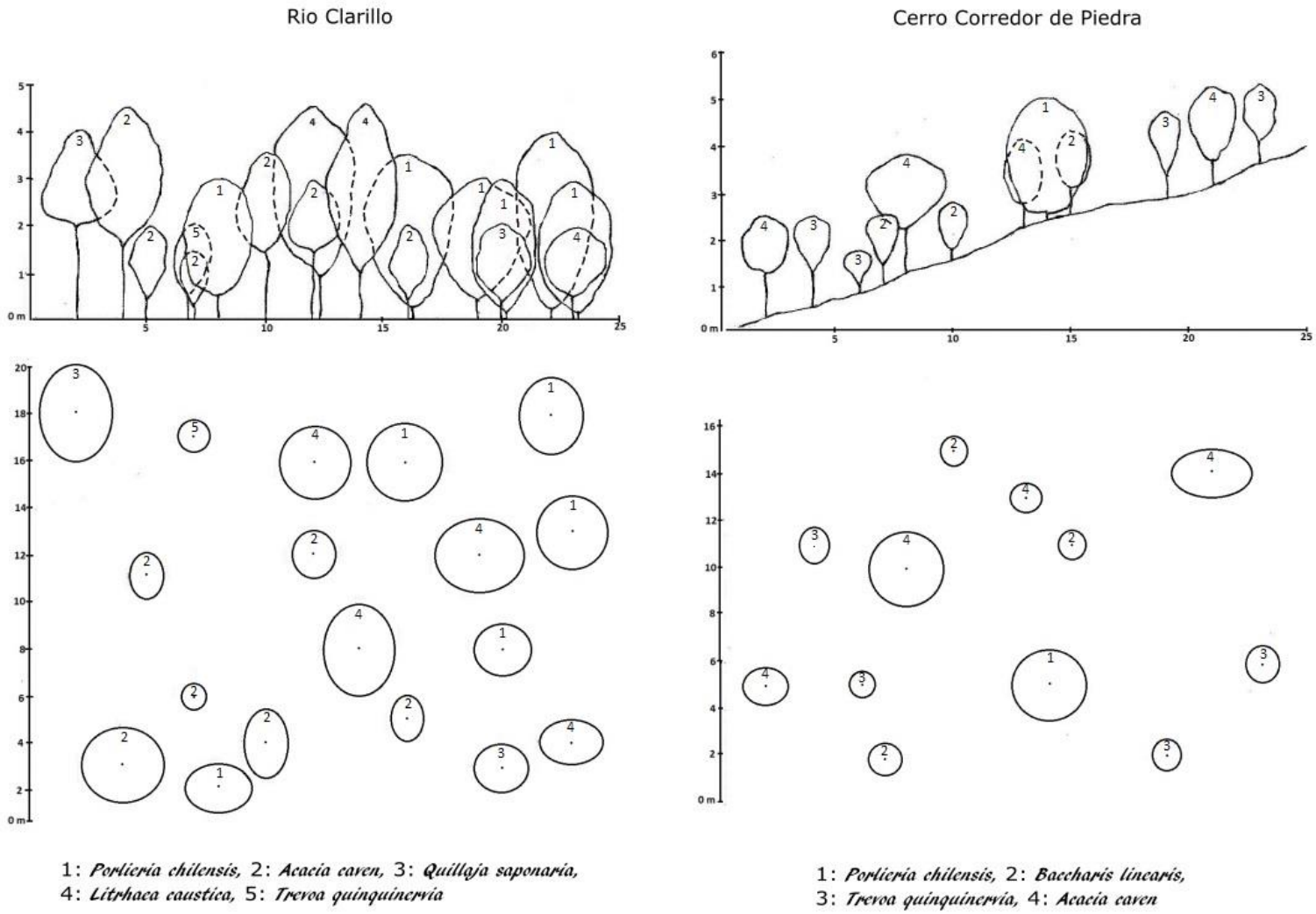


Figura 14. Estructura vertical y horizontal, sector Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra.

Conjuntamente con el análisis vegetacional de los sectores estudiados, también se realizó una cuantificación de la hojarasca existente bajo la cobertura de guayacán (Figura 15), observando que el sector de las Cardas es el que mayor aporte de hojarasca tuvo por hectárea, sin embargo, al estimar la cantidad de hojarasca por individuo se observa que el sector de Cerro Corredor de Piedra es quien más aporta, pero al mismo tiempo, es el lugar con la menor cantidad de individuos de guayacán encontrados por hectárea, es por esta razón que el sector de Las Cardas es quien más materia orgánica posee por superficie.

Esto último, puede estar influenciado directamente por el uso del suelo que presentaban las localidades de estudio, ya que el sector de Las Cardas correspondía a una zona de exclusión, donde la ganadería y otras actividades antrópicas no afectan directamente en el desarrollo de la comunidad vegetal, a diferencia del resto de las localidades.

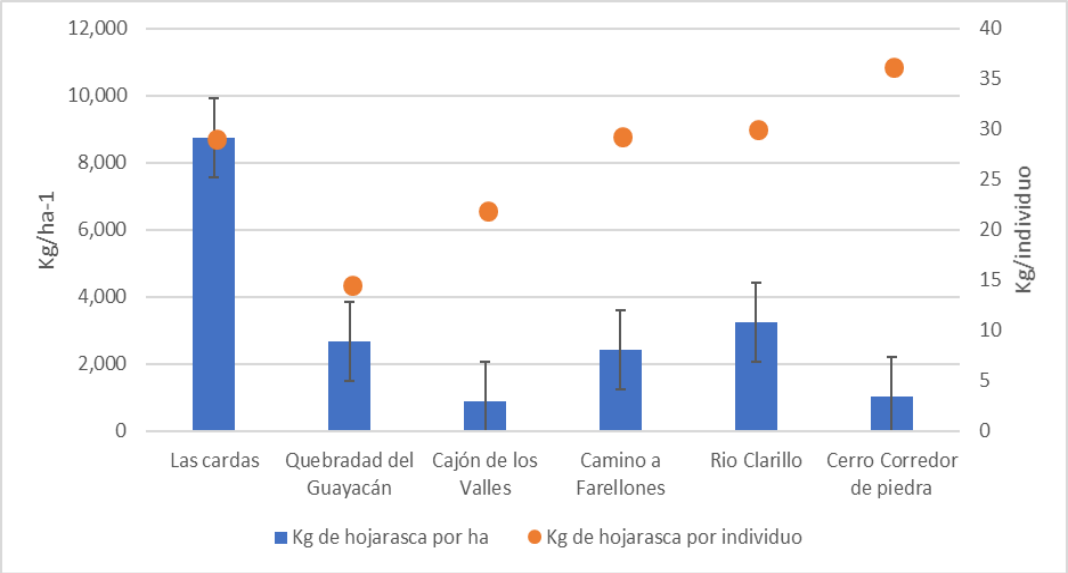


Figura 15. Cantidad de hojarasca promedio en los sectores de estudio.

4.4 Características morfológicas, físicas y químicas de los suelos en estudio

4.4.1 Descripción morfológica y física de los suelos

A nivel general, los suelos tienen un escaso desarrollo, presentando de dos a cuatro horizontes y profundidades que varían entre los 28-80 cm (Figura 16). La profundidad efectiva varió desde muy delgada en el sector de Cajón de los Valles a ligeramente profunda en el sector de Cerro Corredor de Piedra.

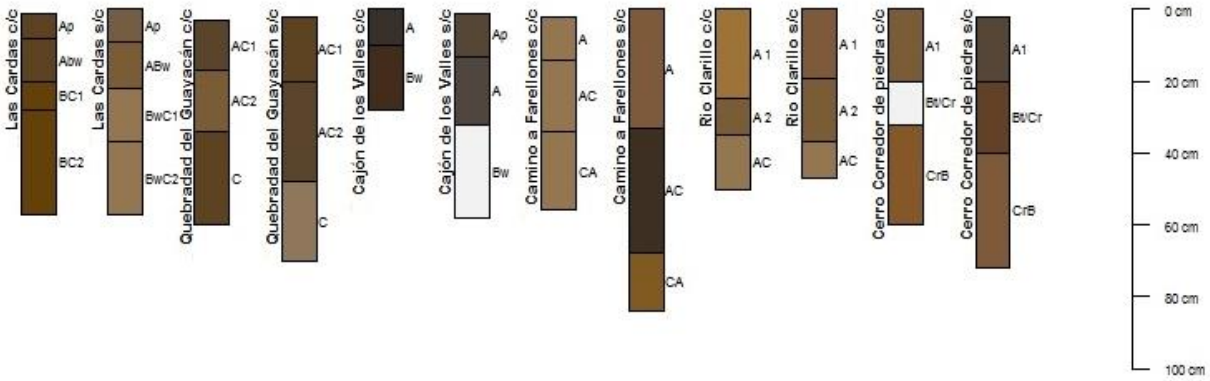


Figura 16. Perfiles verticales de las zonas de estudio.

Los límites de los horizontes son en general del tipo lineal a ondulado, con definiciones que van desde claras a difusas (Figura 17). Los colores son pardos a pardos amarillentos, encontrándose en matices entre 10 YR y 7.5 YR con valores que fluctúan entre 2 a 5 y croma entre 1 y 6 (Tabla 2).

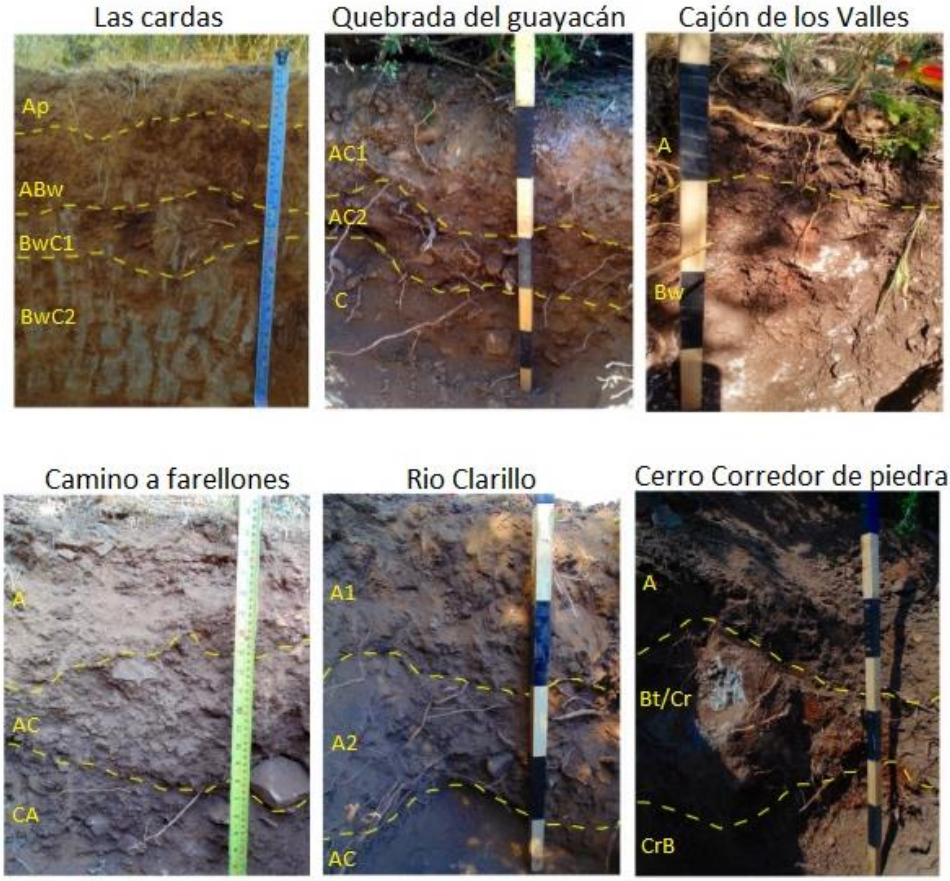


Figura 17. Perfiles encontrados en los diferentes sectores de estudio bajo cobertura de guayacán.

Los suelos analizados corresponden principalmente a suelos livianos, los cuales tienden a poseer un alto contenido de arena, siendo relativamente similar la participación de limo y arcilla (Figura 18), las clases texturales dominantes son moderadamente gruesas (52% de los horizontes de estudio), donde la principal clase textural observada corresponde a la franco arenosa. Sin embargo, un número no menor de horizontes presentó texturas más finas dado por la presencia de arcilla en su composición (sectores de Cajón de los Valles y Cerro Corredor de Piedra). Cabe indicar que no se evidenciaron diferencias texturales en función de la cobertura de guayacán, exposición o pendiente.

Los suelos estudiados estaban, en su mayoría, bien estructurados. El principal tipo de estructura fue de bloques subangulares, de tamaño medio a grueso y un grado moderado a fuerte. La consistencia en seco fue de blanda a ligeramente dura, mientras que las muestras húmedas presentaron consistencia muy friable a friable, en su mayoría. Sólo se definió una resistencia dura para el horizonte AC y CA encontrado en Camino a Farellones y Rio Clarillo, respectivamente. No se evidenció relación de estas variables con la pendiente, exposición o latitud de estudio.

Respecto a la presencia de raíces, éstas son generalmente comunes o moderadamente pocas, de tamaño fino a grueso localizadas en los primeros horizontes del perfil, se observó que la cantidad y tamaño de las raíces disminuyeron notoriamente en profundidad (Tabla 2).

Casanova *et al*. (2013), caracteriza los suelos del sector de Las Cardas y Quebrada del Guayacán dentro de la Zona edáfica hiperárida a semiárida. Para esta zona y específicamente para la Región de Coquimbo, algunos de los suelos de la Cordillera de la Costa (con pendientes entre 6-12%) han desarrollado horizontes cámbico y argílico, aunque los afloramientos rocosos y las piedras superficiales son comunes. A pesar de ser suelos graníticos residuales, los perfiles probablemente están influenciados por procesos coluviales y de sedimentación marina. Los suelos con un horizonte cámbico han sido clasificados como Camborthids o Haplocambids (serie de suelos de Mincha), y aquellos con un horizonte argílico como Peleargids (Luzio *et al*., 2010). Para el resto de las localidades de estudio, los suelos están clasificados como no volcánicos, los cuales corresponden a suelos situados en colinas, piedmonts y depósitos aluviales-coluviales con un desarrollo pedogenético que permitió la formación de horizontes diagnósticos superficiales y epipedones mólicos, con sustratos sustituidos por rocas andesíticas y dioríticas y profundidades que pueden exceder 1 m. Las clases texturales son altamente variables y el contenido de carbono orgánico puede alcanzar valores del 3% en el horizonte

superficial. Los suelos más profundos situados a baja pendiente pueden clasificarse como clase I y II, pero los de menos de 50 cm. de profundidad y de pendientes superiores a 30% se clasifican como VI y VII. Los suelos de los sectores de estudio entre cajón de los valles y Cerro corredor de Piedra se derivan de cenizas volcánicas con diferentes tamaños de grano, que se depositaron sobre sedimentos gruesos de arena y sedimento, principalmente de origen basáltico. Aunque el material original es volcánico, estos suelos no han desarrollado propiedades ándicas en plenitud.

De acuerdo al sistema de clasificación taxonómica de los suelos establecido por USDA, donde clasifica los suelos del mundo en 12 grandes órdenes, es posible definir que el sector de Las Cardas se localiza dentro de la zona con suelos Entisoles, el sector de Quebrada del Guayacán dentro de la zona dominada por suelos Entisoles y Aridisoles, los sectores del Cajón de los Valles, Camino a Farellones y Rio Clarillo dentro de las zona dominada por suelos Molisoles e Inseptisoles, y finalmente el sector del Cerro Corredor de Piedra dentro de la zona dominada por suelos Molisoles, Inseptisoles y Alfisoles.

Tabla 2: Descripción física de los perfiles del suelo de estudio

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Limite	Color		Textura	Resistencia a la ruptura		Adhesividad	Plasticidad	Estructura			Raíces		
			Matiz	Luminosidad/ Cromaticidad		h	s			tipo	tamaño	grado	cantidad	tamaño	ubicación
Las Cardas															
Con cobertura															
1-8	Ap	lg	10YR	3/4	Fa	f	ld	ma	lp	ba	g	f	c	f	eta
8-20	ABw	lc	10YR	3/4	Fa	Mf	md	ma	lp	bsa	g	f	c	f	eta
20-28	BwC1	od	10YR	3/6	Fa	Mf	Md	la	Np	bsa	g	m	p	g	eg
28-57	BwC2		10YR	3/6	Fa	Mf	md	Na	Np	bsa	g	m	Mp	Mf	eta
Las Cardas															
Sin cobertura															
0-9	Ap	lc	10YR	4/3	aF	Mf	b	la	Np	bsa	g	m	Mp	Mf	eta
9-22	ABw	ld	10YR	4/4	Fa	Mf	ld	la	Np	bsa	g	m	Mp	Mf	eta
22-37	BwC1	ld	10YR	5/4	Fa	Mf	ld	la	Np	bsa	m	m	Mp	f	eta
37-57	BwC2		10YR	5/4	aF	Mf	b	la	Np	ba	m	m	Mp	Mf	eta
Quebrada del Guayacán															
Con cobertura															
3-17	AC1	og	10YR	3/3	Aa	Mf	b	la	mp	bsa	g	f	c	m	eta
17-34	AC2	oc	10YR	4/4	Aa	S	b	ma	mp	bsa	g	f	a	g	eta
34-60	C		10YR	3/4	Aa	Mf	b	la	mp	bsa	g	f	mp	g	eta
Quebrada del Guayacán															
Sin cobertura															
2-20	AC1	lc	10YR	3/4	Aa	Mf	b	la	mp	bsa	m	f	mp	c	eta
20-48	AC2	og	10YR	3/3	Aa	Mf	b	la	mp	bsa	m	f	p	f	eg
48-70	C		10YR	5/3	aF	s	s	Na	Np	--	--	Se	mp	c	eg
Cajón de los Valles															
Con cobertura															
0-10	A	lc	10YR	2/1	FAa	Mf	b	Na	mp	bsa	g	m	a	g	eta
10-28	Bw	og	7.5YR	2.5/3	Aa	f	md	la	Mp	bsa	g	f	c	m	eta

Tabla 2 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Limite	Color		Textura	Resistencia a la ruptura		Adhesividad	Plasticidad	Estructura			Raíces		
			Matiz	Luminosidad/ Cromaticidad		h	s			tipo	tamaño	grado	cantidad	tamaño	ubicación
Cajón de los Valles															
Sin cobertura															
0-13	Ap	og	10YR	3/2	F	Mf	b	Na	mp	bsa	MG	d	a	f	eta
13-32	A	og	7.5YR	3/1	Fa	Mf	b	la	mp	bsa	g	m	c	f	eta
32-58	Bw		7.5YR	4/3	A	F	Md	ma	lp	bsa	g	f	c	g	eg
Camino Farellones															
Con cobertura															
2-14	A	og	10YR	5/4	FAa	Mf	ld		lp	bsa	m	f	c	f	eg
14-34	AC	og	10YR	5/4	F	f	b	la	mp	bsa	m	f	a	m	eta
34-56	CA		10YR	5/4	Fa	Mf	md	la	mp	bsa	m	m	c	g	eg
Camino Farellones															
Sin cobertura															
0-33	A	oc	7.5YR	4/4	Fa	f	ld	ma	lp	bsa	m	f	c	m	eg
33-68	AC	od	10YR	4/4	Fa	Mf	md	la	mp	ba	g	f	mp	f	eta
68-84	CA		10YR	4/6	Fa	f	D	ma	lp	bsa	g	m	Mp	Mf	eta
Rio Clarillo															
Con cobertura															
0-25	A1	oc	10YR	5/6	Fa	f	ld	la	lp	bsa	MG	f	c	m	ea
25-35	A2	oc	10YR	4/4	Fa	f	md	ma	lp	bsa	MG	f	c	g	eta
35-50	AC		10YR	5/4	F	F	Md	ma	mp	bsa	g	m	p	f	ea
Rio Clarillo															
Sin cobertura															
0-19	A1	og	7.5	4/4	Fa	Mf	b	la	mp	ba	g	m	p	f	ea
19-37	A2	oc	10YR	4/4	Fa	Mf	md	la	mp	ba	g	f	c	g	eta
37-47	AC		10YR	5/4	Fa	f	D	ma	mp	bsa	g	m	p	f	eta

Tabla 2 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Limite	Color		Textura	Resistencia a la ruptura		Adhesividad	Plasticidad	Estructura			Raíces		
			Matiz	Luminosidad/ Cromaticidad		h	s			tipo	tamaño	grado	cantidad	tamaño	ubicación
Cerro Corredor de Piedra															
Con cobertura															
0-20	A	od	10YR	3/2	A	f	ld	ma	lp	bsa	m	f	mp	f	eta
20-32	Bt/Cr	od	7.5YR	3/4	A	f	ld	Na	mp	bsa	g	m	mp	m	eta
32-60	CrB		7.5YR	4/4	A	Mf	Md	Na	Mp	bsa	g	m	Mp	f	eta
Cerro Corredor de Piedra															
Sin cobertura															
2-20	A	oc	10YR	3/2	FA	f	ld	ma	lp	bsa	m	f	c	m	eta
20-40	Bt/Cr	od	7.5YR	3/4	A	f	ld	Na	Mp	bsa	g	m	mp	m	eta
40-72	CrB		7.5YR	4/4	A	Mf	Md	Na	Mp	ba	g	m	p	f	eta

Abreviación de la descripción de las características en la tabla: **Límite:** oc: ondulado claro, od: ondulado difuso, og: ondulado gradual, pc: plano claro, pd: plano difuso, pg: plano gradual, **Color (Munsell):** s=seco, h=húmedo, **Textura:** a: arenosa, Aa: arcillo arenoso, aF: areno francosa, A: arcilloso, F: franco, Fa: franco arenoso, FAa : franco arcillo arenoso, FA: franco arcilloso, **Resistencia a la ruptura:** b: blando, f: friable, F: firme, Mf: muy friable, D: duro, ld: ligeramente duro, md: moderadamente duro, Md: muy duro, s:suelto, **Adhesividad:** la: ligeramente adhesivo, ma: moderadamente adhesivo, Na: no adhesivo, **Plasticidad:** lp: ligeramente plástico, mp: moderadamente plástico, Mp: muy plástico, Np: no plástico, **Estructura-tipo:** ba: bloques angulares, bsa: bloques subangulares, g: granular, **Estructura-tamaño:** f: fina, g: gruesa, m: media, MG: muy gruesa, **Estructura-grado:** d: débil, f: fuerte, m: moderada, Se: sin estructura, **Raíces-cantidad**: a: abundantes, c: comunes, mp: moderadamente pocas, Mp: muy pocas, p:pocas, **Raíces-tamaño**: f: finos, g: gruesos, m: medios, Mf: muy finos, **Raíces-ubicación**: ea: entre agregados, eg: en grietas, eta: en toda el área.

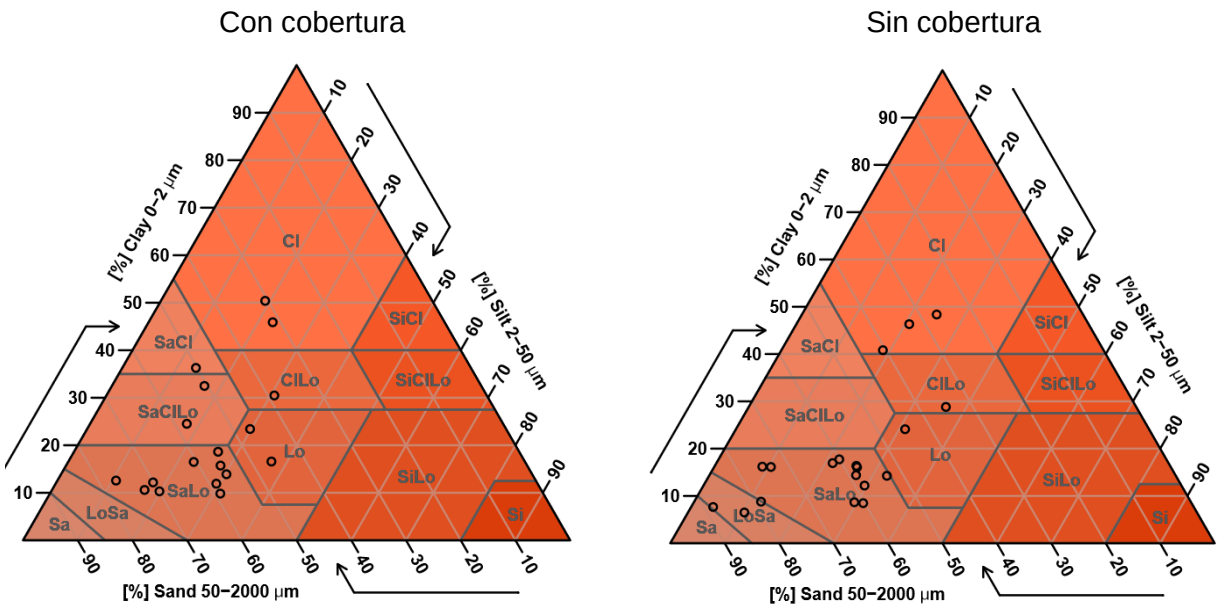


Figura 18: Clases texturales presentes en los sectores de estudio (triángulo textural USDA).
Cl: Arcilla, **SaCl**: Arcillo arenoso, *SaClLo*: Franco arcillo arenoso, **ClLo**: Franco arcilloso, **Lo**: Franco, **SiCl**: Arcillo limoso, **SiClLo**: Franco arcillo limoso, **SiLo**: Franco limoso, **Si**: Limo, **SaLo**: Franco arenoso, **LoSa**: Arena franca, **Sa**: Arena.

La conductividad hidráulica saturada fue variable en función de la localidad y profundidad, con un rango a nivel de superficie de suelo entre 2 y 190 cm/día, el sector de Cerro Corredor de Piedra tuvo los menores valores tanto para fuera y dentro de cobertura (Figura 19), por otra parte, Rio Clarillo fue el único sector de estudio que presentó un mayor valor promedio de esta variable bajo cobertura que fuera de ésta, sin embargo, la diferencia observada es baja.

Este parámetro guarda estrecha relación con la clase textural definida y especialmente con la cantidad de arcilla presente, observando que los sectores que presentaron texturas finas en sus horizontes (sector Cajón de los Valles y Cerro Corredor de Piedra) obtuvieron una baja capacidad de conductividad hidráulica saturada, esto puede estar dado a que la presencia de la fracción gruesa del suelo mejora las condiciones de aireación y porosidad del medio, facilitando el transporte de agua a horizontes profundos.

Al evaluar el nivel de similitud de los perfiles de estudio es posible corroborar lo anteriormente mencionado, observando una estrecha relación entre los sectores Cajón de los Valles y Cerro Corredor de Piedra, ambos caracterizados por poseer una baja capacidad de conductividad hidráulica saturada, por otra parte, se encontró una alta similitud en los perfiles realizados en el sector de Las Cardas, Caminos a Farellones y Rio Clarillo, todos estos sectores se caracterizan por poseer el menor porcentaje de presencia de arcilla en sus suelos (Figura 20).

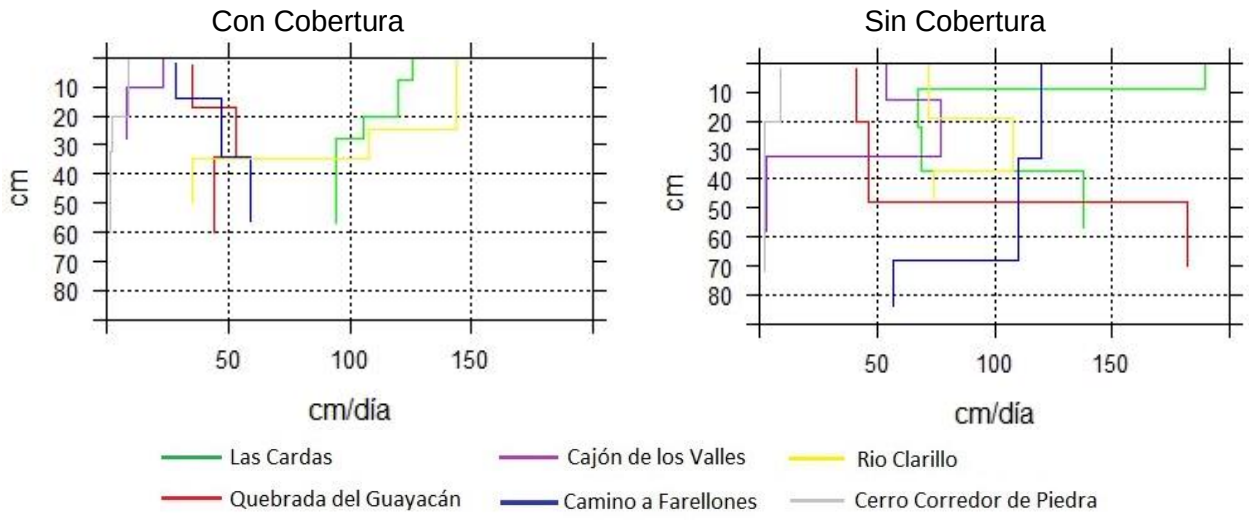


Figura 19. Distribución espacial de la conductividad hidráulica saturada en el suelo.

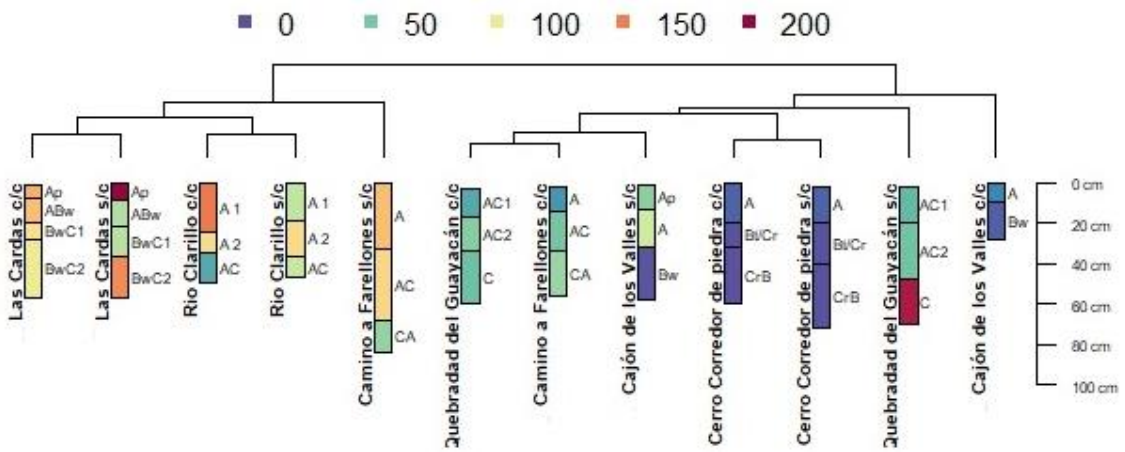


Figura 20. Nivel de similitud entre perfiles en función de la conductividad hidráulica saturada (cm/día) del suelo.

La curva característica de humedad del suelo muestra el rango de agua capilar disponible entre la capacidad de campo (C.C.) y el punto de marchitez permanente (P.M.P.), los principales factores que determinan esta curva es el tipo de textura y el porcentaje de materia orgánica del suelo. Como se puede observar (Figura 1 a Figura 6, Anexo), en los suelos que presentan texturas finas, principalmente en los sectores de cajón de los Valles y Cerro Corredor de Piedra, poseen un mayor rango de agua disponible que aquellos suelos que presentan texturas gruesas (por ejemplo en Las cardas), también se observa que en estos tipos de suelos, caracterizados por poseer un alto contenido de arcillas, el P.M.P. es mayor, mostrando que el agua disponible disminuye en relación a los suelos con texturas gruesas (Tabla 3). Un tercer factor a analizar en

estos suelos es la menor pendiente que presentan las curvas de humedad con relación a los suelos con un mayor contenido de arena (Figura 1 a Figura 6, Anexo), esta menor pendiente indica que el agua disponible para guayacán se libera más gradualmente que en suelos arenosos, a medida que disminuye el potencial hídrico desde la C.C. hasta el P.M.P.

La curva característica de humedad del suelo también se vio influenciada por el contenido de materia orgánica, observando que en suelos con un mayor porcentaje de materia orgánica mayor es la capacidad de retención de agua disponible (Tabla 4), esto se debe esencialmente a que la materia orgánica retiene agua y mejora la estructura del suelo, lo que a su vez desarrolla una mayor porosidad.

La densidad aparente tiende a aumentar a mayor profundidad del perfil (Figura 21 y Tabla 3), siendo el sector bajo cobertura del Cajón de los Valles un sector con una alta densidad aparente en los horizontes analizados. Esta variable se encuentra asociada directamente al contenido de materia orgánica de los suelos, observando que en los horizontes con mayor MO disminuye la densidad aparente, esto ya que este elemento facilita la granulación de los suelos, haciéndolos más sueltos y porosos, otros factores que explican el aumento de la densidad aparente a mayores profundidades es la menor agregación, disminución en la penetración de raíces y mayor compactación causada por el peso.

Es importante considerar que todos los sectores de estudio, a excepción de Las Cardas, presentaron una constante presión antrópica, caracterizada por la presencia de ganadería bovina y caprina principalmente, incrementando la compactación de los suelos de estudio y por ende, modificando la densidad aparente del suelo, al menos en los primeros horizontes de éste.

Tabla 3: Características físicas de los suelos de estudio

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Cond. Hidráulica (cm/día)	Densidad aparente (g/cm^3)	Capacidad de campo (C.C.) (%)	Punto de marchitez permanente (PMP) (%)	Agua disponible en el suelo (%)	Textura (%)		
							Arena	Limo	Arcilla
Las Cardas Con cobertura									
01-08	Ap	126	1,7	17,3	8,9	8.4	72,5	16,9	10,6
08-20	ABw	120	1,74	15,7	7,3	8.4	69,9	19,8	10,3
20-28	BwC1	106	1,85	17,4	8,9	8.5	70,2	17,7	12,2
28-57	BwC2	94	1,96	14,2	7,9	6.3	76,6	10,7	12,6
Las Cardas Sin cobertura									
0-9	Ap	190	1,63	10,5	4.9	5.6	83,1	10,4	6,5
9-22	ABw	67	1,77	17	9,9	7.1	73,5	10,4	16,1
22-37	BwC1	69	1,78	16,5	9,8	6.7	75,0	8,8	16,2
37-57	BwC2	138	1,83	11	5	6	78,9	12,3	8,8
Quebrada del Guayacán									
Con cobertura									
03-17	AC1	35	1,71	22,3	11,8	10.5	55	26,3	18,6
17-34	AC2	53	1,8	19,1	8,7	10.4	55,9	30,2	13,9
34-60	C	44	1,96	20,1	9,8	10.3	56,0	28,2	15,7
Quebrada del Guayacán									
Sin cobertura									
02-20	AC1	41	1,64	20,4	11	9.4	60,1	22,2	17,7
20-48	AC2	46	1,85	19,5	9,7	9.8	57,7	26,3	16,1
48-70	C	182	s/i	8,6	4,3	4.3	88,3	4,0	7,7

Tabla 3 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Cond. Hidráulica (cm/día)	Densidad aparente (g/cm^3)	Capacidad de campo (C.C.) (%)	Punto de marchitez permanente (PMP) (%)	Agua disponible en el suelo (%)	Textura (%)		
							Arena	Limo	Arcilla
Cajón de los Valles									
Con cobertura									
0-10	A	23	2,09	35,9	23	12.9	50,6	16,9	32,5
10-28	Bw	8	2,02	34,7	23,2	11.5	50,3	13,5	36,3
Cajón de los Valles									
Sin cobertura									
01-13	Ap	54	1,37	32,5	18	14.5	44,8	31,1	24,1
13-32	A	77	1,61	24,3	13,4	10.9	61,7	21,3	16,9
32-58	Bw	3	1,63	40,2	27,9	12.3	32,9	20,7	46,3
Camino Farellones									
Con cobertura									
02-14	A	28	1,68	27,4	16,8	10.6	57,8	17,7	24,5
14-34	AC	47	1,7	24,9	11,8	13.1	46,3	37,1	16,6
34-56	CA	59	1,59	20,5	10,7	9.8	60,6	23,0	16,5
Camino Farellones									
Sin cobertura									
0-33	A	120	1,66	17,1	6,3	10.8	60,3	31,2	8,5
33-68	AC	110	1,84	16,7	6,6	10.1	61,9	29,5	8,7
68-84	CA	57	1,86	18,5	8,7	9.8	58,7	26,9	14,4
Rio Clarillo									
Con cobertura									
0-25	A1	144	1,67	22,2	9,9	12.3	59,0	31,1	9,8
25-35	A2	108	1,62	21,8	10,2	11.6	58,7	29,4	11,9
35-50	AC	35	1,58	28,7	15,8	12.9	46,8	29,8	23,4

Tabla 3 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Cond. Hidráulica (cm/día)	Densidad aparente (g/cm^3)	Capacidad de campo (C.C.) (%)	Punto de marchitez permanente (PMP) (%)	Agua disponible en el suelo (%)	Textura (%)		
							Arena	Limo	Arcilla
Rio Clarillo									
Sin cobertura									
0-19	A1	72	1,61	23,5	12,1	11.4	57,6	26,0	16,4
19-37	A2	108	1,58	22,2	10,2	12	58,2	29,6	12,2
37-47	AC	74	1,68	22,8	10,5	12.3	53,1	32,7	14,3
Cerro Corredor de Piedra									
Con cobertura									
02-31	A	9	1,61	30,9	18,2	12.7	38,8	30,7	30,5
31-40	Bt/Cr	2	1,76	40,1	27,4	12.7	31,4	22,7	45,9
40-80	CrB	1	1,77	42,2	29,7	12.5	30,5	19,1	50,4
Cerro Corredor de Piedra									
Sin cobertura									
02-20	A	9	0,46	31	17,6	13.4	35,0	36,2	28,8
20-40	Bt/Cr	2	1,83	41,4	28,5	12.9	26,9	24,8	48,4
40-72	CrB	2	1,79	36,5	24,5	12	40,5	18,6	40,8

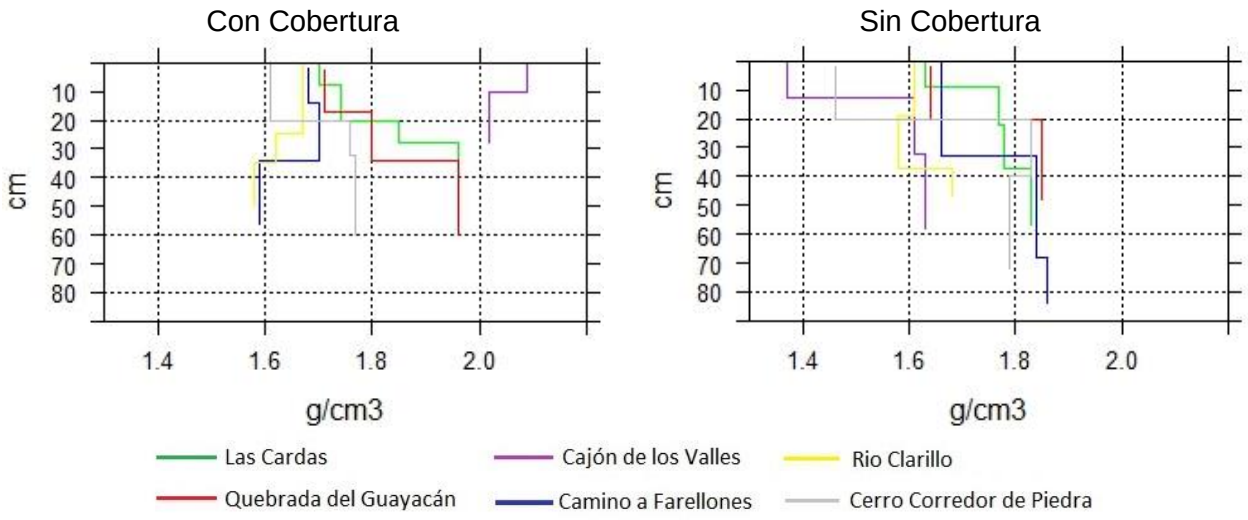


Figura 21. Distribución espacial de la densidad aparente en el suelo

Al analizar el grado de similitud que presentan los diferentes perfiles de suelo es posible observar que existe una asociación entre aquellos perfiles de la zona central en estudio, caracterizadas por poseer una baja densidad aparente, incluso en los horizontes de mayor profundidad. Por otra parte, el perfil de Cajón de los Valles fuel el que guarda la menor relación de similitud.

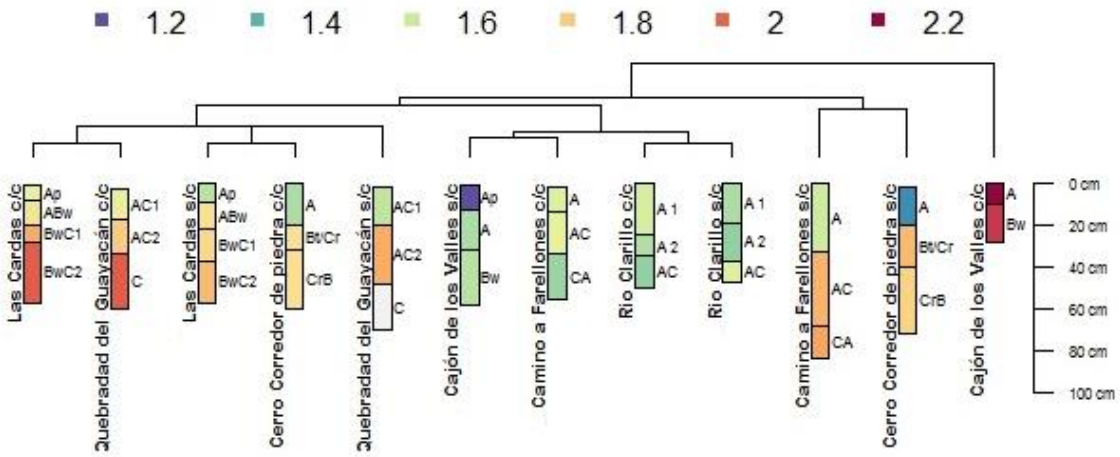


Figura 22. Nivel de similitud entre perfiles en función de la densidad aparente (g/cm^3) del suelo

4.4.2 Propiedades químicas de los suelos de estudio

Al evaluar la acidez de los diferentes horizontes de los perfiles de estudio, se pudo observar que sólo el sector de Cajón de los Valles presentó un pH neutro en alguno de sus horizontes (pH 6.6 - 7.3), mientras que para el resto de las localidades los valores de pH corresponden entre fuertemente ácidas a ligeramente alcalinas que fluctúan entre 4,96 en el sector de Cerro Corredor de Piedra a 6.5 en Las Cardas (Figura 23). A nivel general, no se observa una tendencia de concentración de pH a lo largo de los perfiles de estudio ni tampoco con relación a la cobertura de guayacán por sector de estudio.

El rango donde existe la mayor disponibilidad de nutrientes es en pH entre 6.0 y 7.0 (Donoso, 1981), situación observada para los sectores de Las Cardas y Camino a Farellones en todos los horizontes analizados, también en Cajón de los Valles y Quebrada del Guayacán fue posible encontrar pH dentro de este rango en algunos de sus horizontes, mientras que en Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra sólo se encontraron horizontes con pH inferiores a este rango, sin embargo, de igual manera se observaron poblaciones de guayacán en buen estado aparente, de tamaño considerable y copas frondosas, mostrando que *P. chilensis* es una especie capaz de desarrollarse en suelos ácidos.

Al observar la agrupación de similitud de la variable pH se puede mencionar que las calicatas realizadas en el sector de Rio Clarillo poseen el mayor grado de similitud entre ellas (bajo y fuera de cobertura), estas calicatas se asocian con las realizadas en el sector de Cerro Corredor de Piedra caracterizadas por poseer pH ácidos que no superan un valor de pH de 5,5. También, se puede observar que existe una relación en función de la latitud de los sectores, de esta manera, un grupo se encuentra relacionado por su concentración de pH y por estar localizados en los sectores meridionales de estudio (Cerro Corredor de Piedra y Rio Clarillo), mientras que el segundo grupo se encuentra conformado por los sectores septentrionales de estudio, caracterizados por poseer en general un mayor valor de pH (Figura 24).

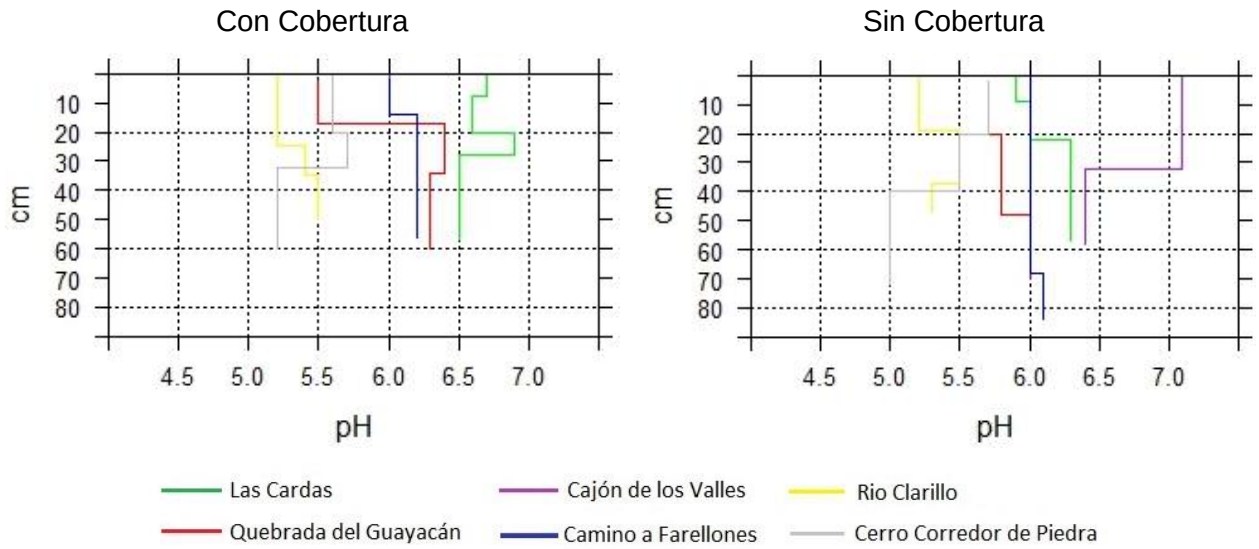


Figura 23. pH del suelo

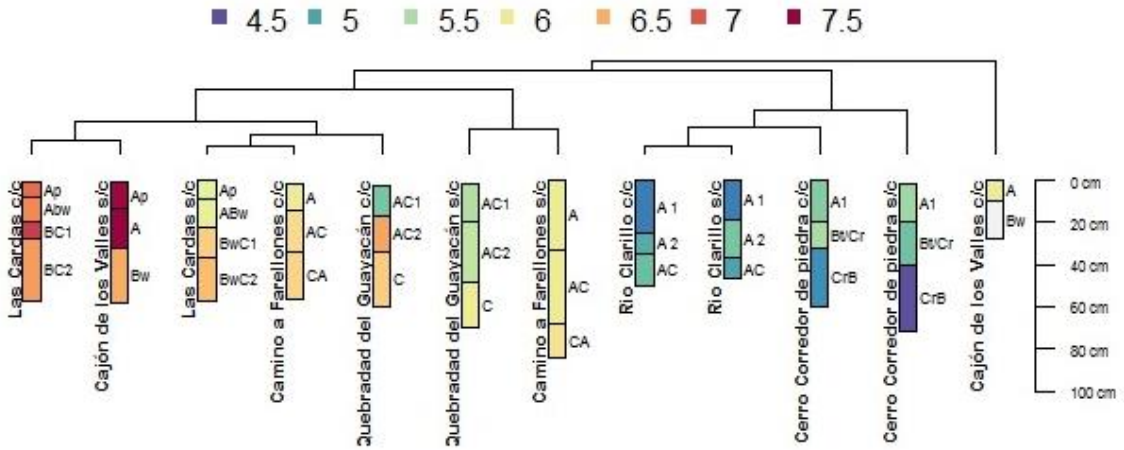


Figura 24. Nivel de similitud entre perfiles en función del pH

En todos los sectores de estudio se encontró un mayor porcentaje de materia orgánica en los suelos bajo cobertura de guayacán que fuera de ésta, evidenciando el mayor aporte de este elemento gracias a la presencia de esta especie arbórea, también se observó una tendencia a un mayor contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad de estudio (Figura 25), situación que ocurre tanto dentro como fuera de cobertura de guayacán.

El sector que presentó un mayor contenido de materia orgánica promedio fue Cajón de los Valles con un 4.9%, mientras que los sectores que presentaron la menor concentración fue Quebrada del Guayacán y Cerro Corredor de Piedra con 0,3% en ambas situaciones (Tabla 4). Un factor importante a considerar es que el sector de Las Cardas fue el que presentó una mayor acumulación de hojarasca bajo las copas de guayacán, sin embargo, es uno de los sectores con un bajo contenido de materia orgánica en sus horizontes, mostrando que para este sector la descomposición y aporte de la hojarasca es menor que para los otros sectores de estudios, donde sí se observó una tendencia entre cantidad de hojarasca y materia orgánica.

A nivel general, se observa que el contenido de materia orgánica se ve influenciado tanto por la cobertura (encontrándose un mayor contenido de materia orgánica bajo cobertura que fuera de ésta), de la profundidad de la muestra (observando un mayor contenido de MO a menores profundidades) y la localidad de estudio.

Al analizar el nivel de similitud de los perfiles en función de esta variable (Figura 26), es posible observar que el mayor grado de similitud se encuentra entre los perfiles del sector del Cerro Corredor de Piedra y Quebrada del Guayacán (sin cobertura y con cobertura), estos cuatro perfiles junto al obtenido en Las Cardas sin cobertura se encuentran en un grupo de similitud mayor, caracterizado por el bajo porcentaje de materia orgánica encontrado en los perfiles.

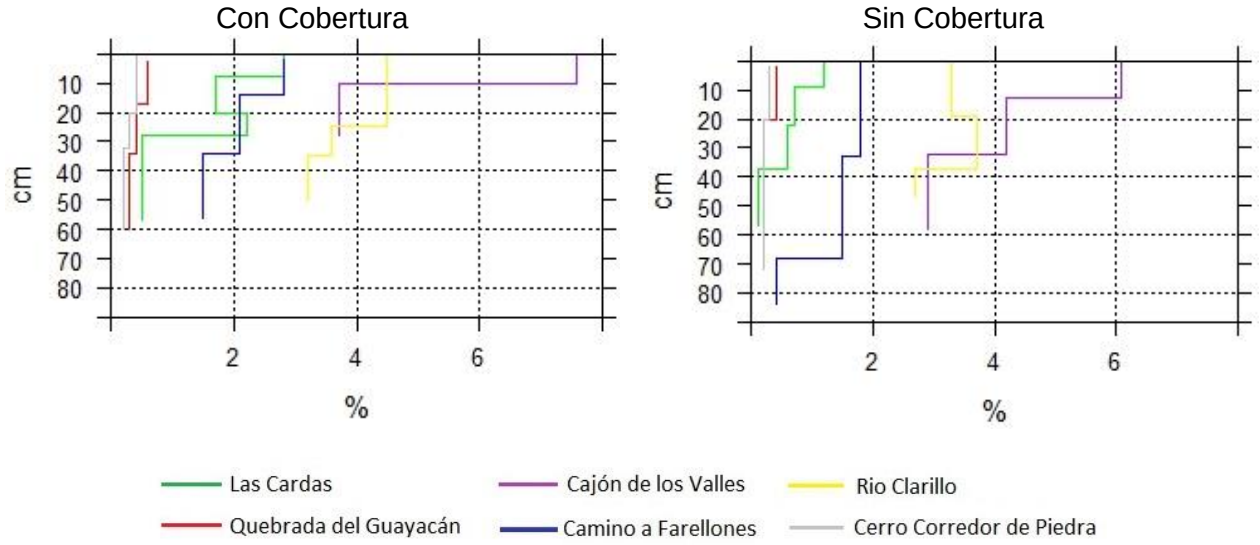


Figura 25: Distribución espacial del contenido de materia orgánica en el suelo

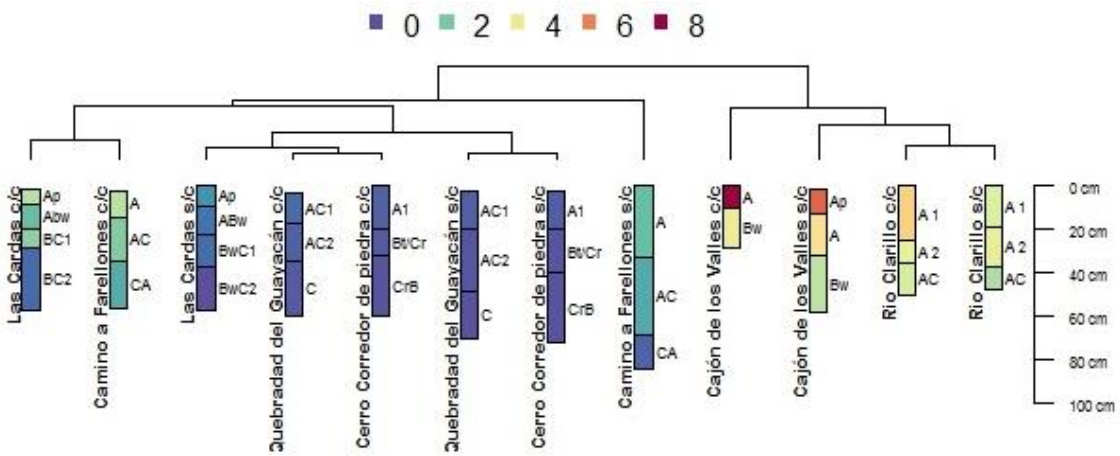


Figura 26. Nivel de similitud entre perfiles en función de la materia orgánica (%)

Al analizar la conductividad eléctrica (CE), se puede observar que los suelos estudiados donde crece guayacán son suelos no salinos (Figura 27), por lo que poseen una baja concentración de sales solubles a lo largo de los perfiles analizados. Las menores concentraciones de sales se encuentran principalmente en suelos franco arenoso de Las Cardas, Camino a Farellones y Rio Clarillo, mientras que los suelos con un mayor contenido de arcillas tienden a poseer una mayor concentración de sales solubles.

En cuanto al grado de similitud que poseen los perfiles del suelo, se puede observar que presentaron un mayor grado de similitud los sectores de Las Cardas y Rio Clarillo, siendo estos cuatro perfiles caracterizados por la baja conductividad eléctrica de sus perfiles (Figura 28), por lo tanto, la clase textural y la MO se encuentran relacionados con los niveles de conductividad eléctrica de los suelos de estudio.

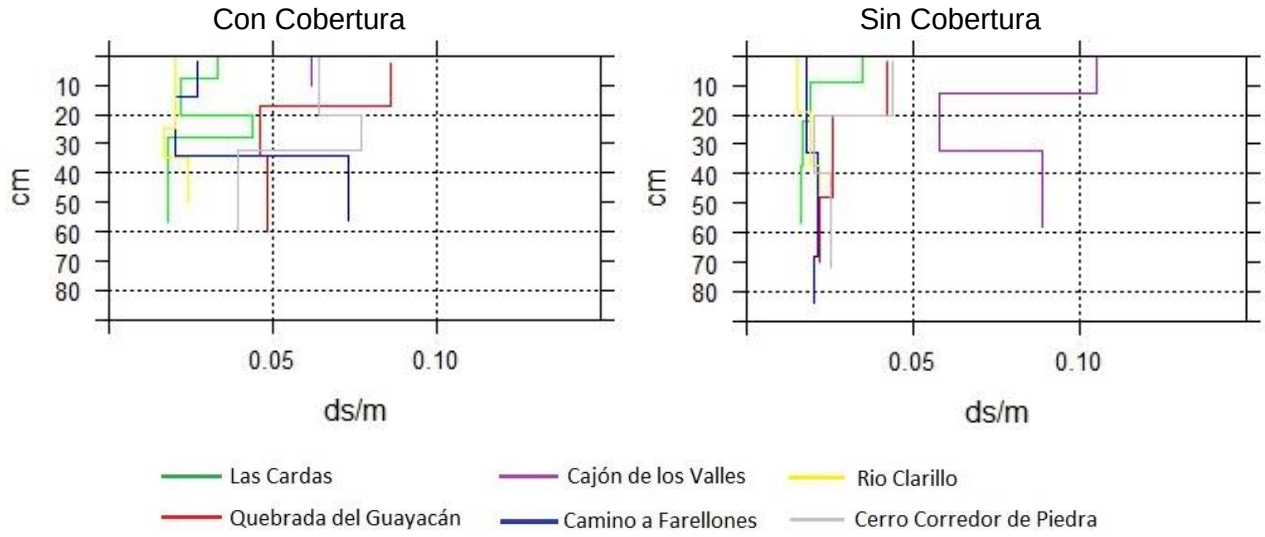


Figura 27. Distribución espacial de la conductividad eléctrica en el suelo.

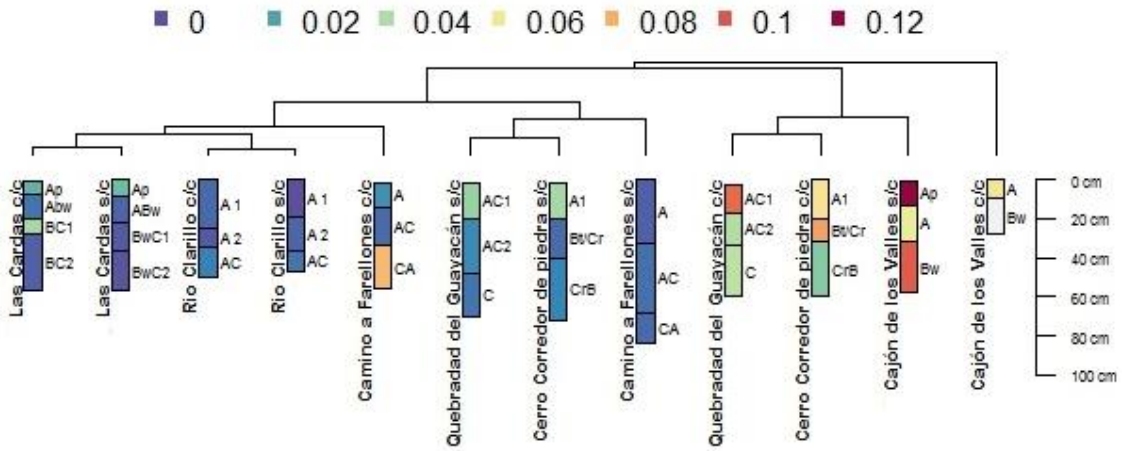


Figura 28. Nivel de similitud entre perfiles en función de la conductividad eléctrica (dS/m)

Al evaluar el contenido de fósforo disponible existente en las muestras de suelo se observa que no existe tendencia alguna que indique que este elemento posea algún grado de distribución predictivo, siendo muy variable tanto en cobertura, distribución y profundidad de muestreo (Figura 29), al ser evaluada junto con los diferentes elementos de estudio (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, conductividad hidráulica saturada, nitrógeno disponible, además de material parental y origen geológico) no se evidenció asociación entre la concentración de fósforo disponible y alguna de esta variables.

A nivel general, se puede señalar que el sector con mayor contenido de P promedio presente corresponde a Cajón de los Valles y Las Cardas con 73 (mg/kg) y 60,1 (mg/kg), respectivamente, si se evalúa en función de la cobertura, se observa que el contenido de P promedio son similares con 48,7 (mg/kg) con cobertura y 53, 5 (mg/kg) sin cobertura (Tabla 4).

El grado de similitud encontrado en los diferentes perfiles de estudio arrojan que las calicatas realizadas bajo cobertura en Camino a Farellones y la realizada fuera de cobertura en el sector de Las Cardas poseen el mayor grado de similitud entre ellas (Figura 30), también es posible apreciar que el mayor grado de similitud de perfiles se da entre situaciones opuestas (con y sin cobertura), demostrando la alta variabilidad de concentración de fósforo disponible disuelto posible de encontrar en las diferentes situaciones de estudio, no encontrando una asociación predictiva.

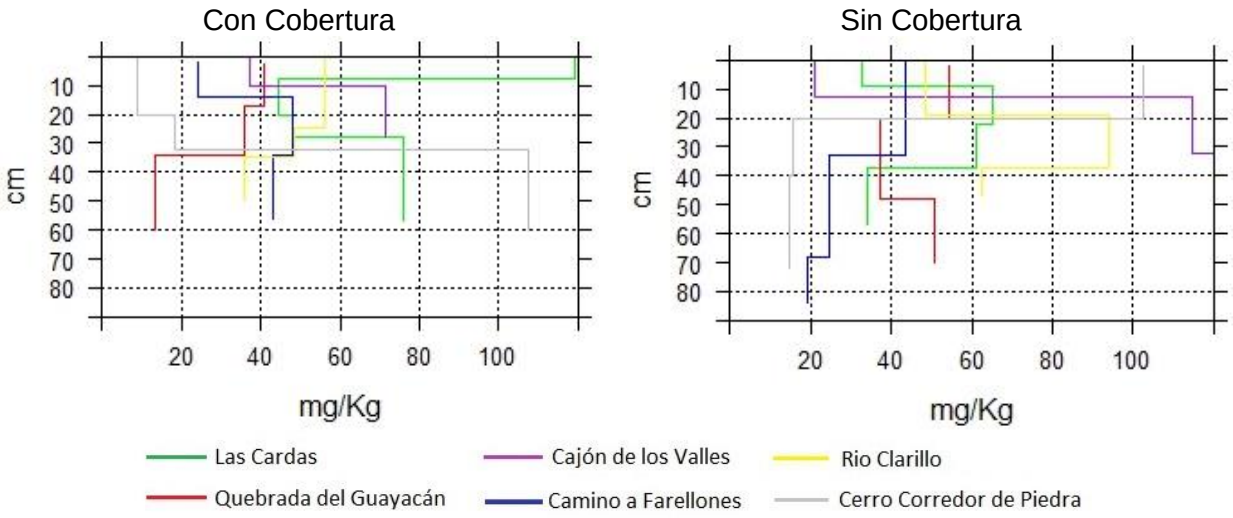


Figura 29. Distribución espacial de fósforo disponible en el suelo

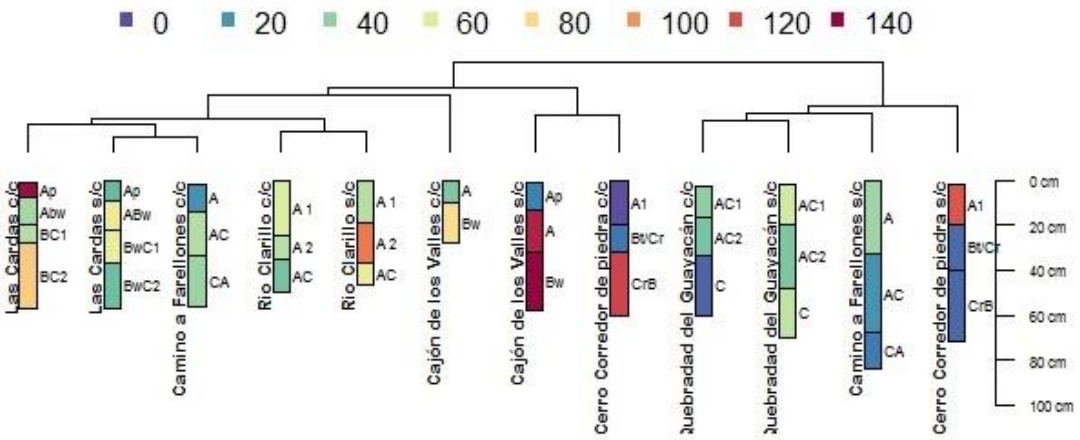


Figura 30. Nivel de similitud entre perfiles en función del fósforo disponible (mg/Kg)

El nitrógeno total encontrado no presenta tendencia en relación con la profundidad y cobertura de estudio (Figura 31), revelando la variabilidad de este elemento a lo largo de los perfiles analizados. Sin embargo, se observa cierta relación con el porcentaje de materia orgánica por localidad de estudio, haciéndose más evidente en los sectores meridionales de estudio (Camino a Farellones, Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra).

En cuanto al nivel de similitud, se observa que los perfiles de Las Cardas junto a realizado bajo cobertura en Camino a Farellones son los que guardan el mayor grado de similitud, sin embargo, destaca la gran disimilitud existente entre los perfiles de Camino a Farellones (con y sin cobertura) (Figura 32).

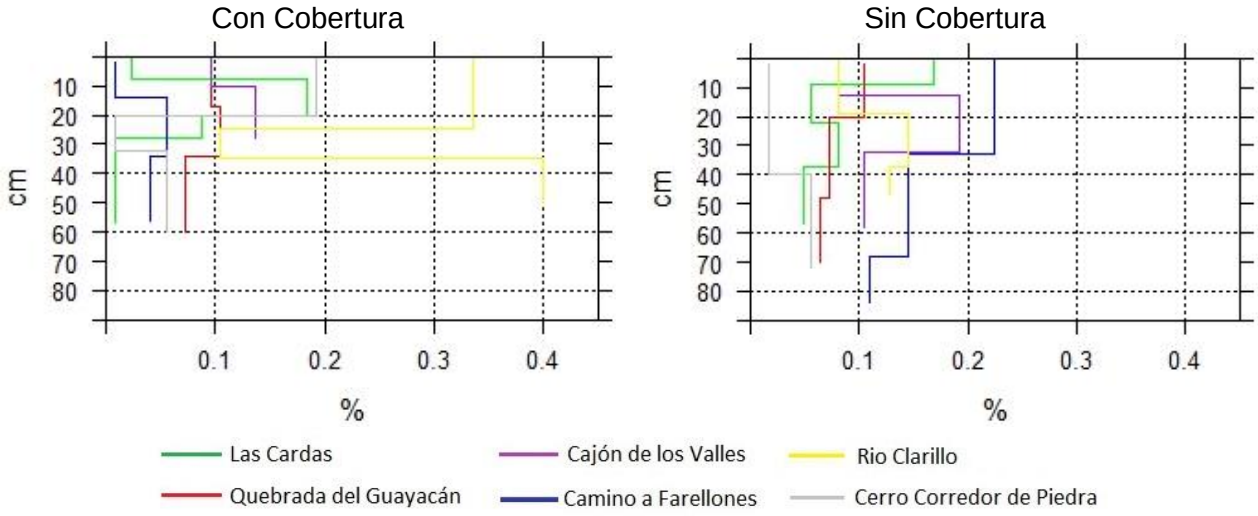


Figura 31. Distribución espacial de nitrógeno total en el suelo.

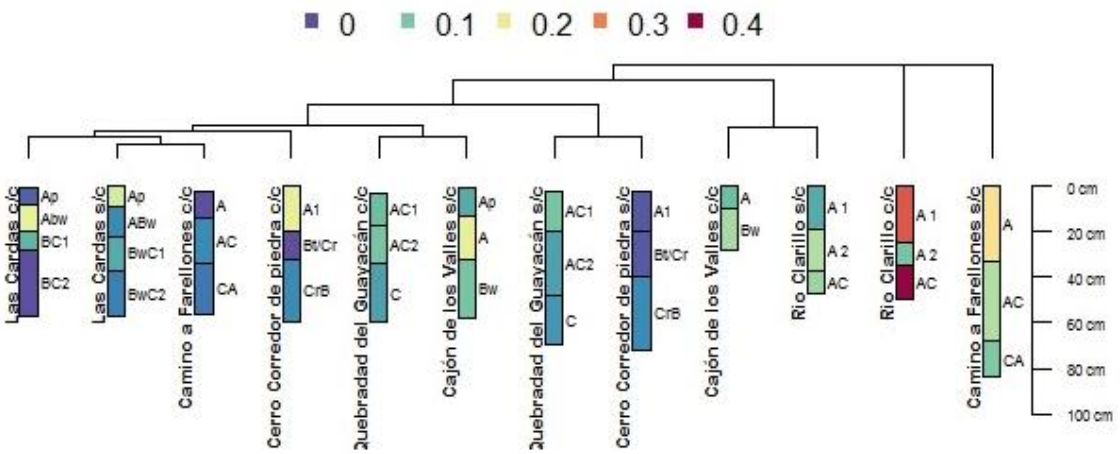


Figura 32. Nivel de similitud entre perfiles en función del nitrógeno total (%) en el suelo

En cuanto a los resultados obtenidos de nitrógeno disponible, se puede observar que, en general, existe un mayor contenido de este elemento en los primeros horizontes de suelo, tanto para fuera como bajo cobertura, disminuyendo a medida que se incrementa la profundidad de estudio. Al compararlo con la cantidad de nitrógeno total, se observa que no existe alguna tendencia o relación entre estos parámetros, mostrando que no necesariamente al existir un mayor porcentaje de nitrógeno total habrá una mayor concentración de nitrógeno disponible en el perfil. Los sectores de Las Cardas, Camino a Farellones y Cerro Corredor de Piedra presentaron una mayor disponibilidad de nitrógeno bajo cobertura que fuera de ésta, pudiendo llegar al doble de su concentración (Figura 33).

Al evaluar los diferentes perfiles de suelo se puede observar que, un grupo definido como similar entre sí corresponde a los perfiles realizados en Las cardas y Rio Clarillo, este grupo se caracteriza por presentar una disponibilidad de nitrógeno no superior a los 10 mg/kg, por poseer la menor pendiente de estudio, siendo no superior a 3% de inclinación y presentar texturas franco arenosas, en casi la totalidad de los horizontes analizados (Figura 34). Probablemente, la clase textural que presentan estos sectores podría influenciar en la menor disponibilidad de nitrógeno a lo largo del perfil, producto que los suelos con un alto porcentaje de arena poseen una baja capacidad de retención de agua transportando los nutrientes hacia estratos más profundos. A pesar de esto, no se observa que las poblaciones de *P. chilen*sis observadas en los sectores de Las Cardas y Rio Clarillo presenten deficiencias de este elemento, por el contrario, en estos sectores se observaron individuos de apariencia saludable, de gran tamaño y copas frondosas, lo que demuestra que guayacán es una especie de un bajo requerimiento de humedad y nutrientes para su crecimiento.

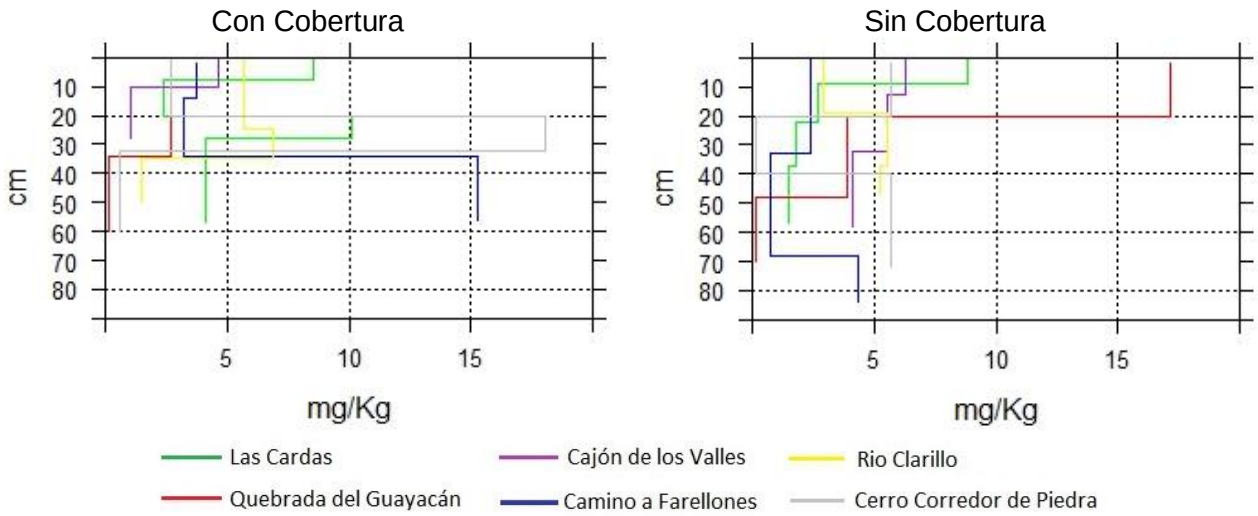


Figura 33. Distribución espacial de nitrógeno disponible en el suelo.

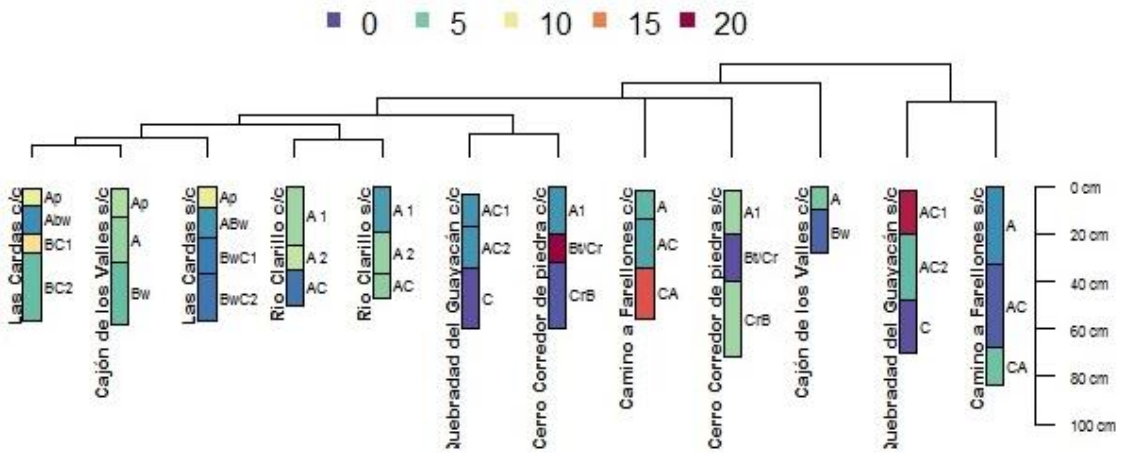


Figura 34. Nivel de similitud entre perfiles en función del nitrógeno disponible (mg/kg) en el suelo

Tabla 4: Descripción química de los suelos de estudio

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Materia orgánica (%)	Fósforo disponible (mg/Kg)	pH	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno disponible (mg/Kg)	Cond. Eléctrica (Ds/m)
Las Cardas							
Con cobertura							
1-8	Ap	2.8	119	6.7	0.02	8.5	33.4
8-20	ABw	1.7	44.6	6.6	0.18	2.4	22.3
20-28	BwC1	2.2	47.9	6.9	0.09	10.5	43.9
28-57	BwC2	0.5	76.1	6.5	0.01	4.1	18
Las Cardas							
Sin cobertura							
0-9	Ap	1.2	32.8	5.9	0.17	8.8	35.1
9-22	ABw	0.7	65.3	6	0.06	2.7	18.9
22-37	BwC1	0.6	61	6.3	0.08	1.8	16.5
37-57	BwC2	0.1	34.2	6.3	0.05	1.5	15.6
Quebrada del Guayacán							
Con cobertura							
3-17	AC1	0.6	40.8	5.5	0.10	2.7	85.5
17-34	AC2	0.4	36.1	6.4	0.10	2.7	45.9
34-60	C	0.3	13.6	6.3	0.07	0.1	47.5
Quebrada del Guayacán							
Sin cobertura							
2-20	AC1	0.4	54.3	5.7	0.10	17.2	41.5
20-48	AC2	0.2	37.1	5.8	0.07	3.9	25.5
48-70	C	0.2	50.7	6	0.06	0.1	21.7
Cajón de los Valles							
Con cobertura							
0-10	A	7.6	37.3	6	0.10	4.6	61.5
11-28	Bw	3.7	71.3		0.14	1	

Tabla 4 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Materia orgánica (%)	Fósforo disponible (mg/Kg)	pH	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno disponible (mg/Kg)	Cond. Eléctrica (Ds/m)
Cajón de los Valles							
Sin cobertura							
1-13	Ap		20.9	7.1	0.08	6.3	105.4
13-32	A	4.2	114.7	7.1	0.19	5.5	57.5
32-58	Bw	2.9	120.6	6.4	0.10	4.1	89.4
Camino Farellones							
Con cobertura							
2-14	A	2.8	24.4	6	0.01	3.8	27
14-34	AC	2.1	47.9		0.06	3.2	19.5
34-56	CA	1.5	43.2	6.2	0.04	15.3	72.6
Camino Farellones							
Sin cobertura							
0-33	A	1.8	43.6	6	0.22	2.4	18.3
33-68	AC	1.5	24.6	6	0.14	0.7	20.9
68-84	CA	0.4	19.3	6.1	0.11	4.3	19.6
Rio Clarillo							
Con cobertura							
0-25	A1	4.5	56	5.2	0.34	5.7	19.7
25-35	A2	3.6	48.7	5.4	0.10	6.9	17.2
35-50	AC	3.2	35.9	5.5	0.40	1.5	23.5
Rio Clarillo							
Sin cobertura							
0-19	A1	3.3	48.3	5.2	0.08	2.9	15.3
19-37	A2	3.7	94	5.5	0.14	5.5	18.7
37-47	AC	2.7	62.6	5.3	0.13	5.2	21.5

Tabla 4 (continuación)

Sector Cobertura Espesor (cm)	Horizonte	Materia orgánica (%)	Fósforo disponible (mg/Kg)	pH	Nitrógeno total (%)	Nitrógeno disponible (mg/Kg)	Cond. Eléctrica (Ds/m)
Cerro Corredor de Piedra							
Con cobertura							
2-31	A1	0.4	9	5.6	0.19	2.7	63.7
31-40	Bt/Cr	0.3	18.3	5.7	0.01	18.1	77.1
40-80	CrB	0.2	107.4	5.2	0.06	0.6	39.1
Cerro Corredor de Piedra							
Sin cobertura							
2-20	A	0.3	102.6	5.7	0.02	5.7	43.5
20-40	Bt/Cr	0.2	15.7	5.5	0.02	0.1	20
40-72	CrB	0.2	14.8	5	0.06	5.7	24.9

4.4.3 Efecto de la cobertura de guayacán en la superficie del suelo

La presencia de guayacán trae consigo el aporte de determinados elementos que favorecen y facilitan la llegada de nuevos individuos al sistema, como así también, a mejorar algunas propiedades propias del suelo en que se encuentra. Dada las características de la copa de *P. chilensis*, es que la hace una especie facilitadora para la llegada de nuevos individuos bajo ésta (pudiendo ser individuos de guayacán como de otras especies propias de estos ecosistemas), ya que se ha demostrado el efecto de microclima a través de cambios en la temperatura y humedad del suelo justo bajo las copas de guayacán, como también a la influencia que ejerce para el control de la erosión. También, se atribuye el aporte de materia orgánica y otros elementos a los primeros centímetros de suelo, modificación de la estructura, textura y porosidad.

4.4.3.1 Efecto de la cobertura de guayacán en la textura superficial y propiedades asociadas

Las texturas de los suelos en los primeros centímetros de profundidad tienden a poseer un alto contenido de arena (bajo y fuera de cobertura), siendo la principal clase textural encontrada la franca arenosa (Figura 35). Al igual que los resultados obtenidos para los perfiles de estudio visto en el Título 4.4.1, el principal tamaño de partículas observada corresponde a partículas moderadamente gruesas, mostrando la preferencia textural que presentan las poblaciones de *P. chilensis* de estudio.

Esto muestra que la cobertura no es un factor que, por sí solo, logre generar una variación de la textura a nivel superficial. Esto es esperable por cuanto la influencia de la vegetación y la conformación de partículas de arcilla (por ende, en la conformación de un cambio textural) generan una influencia insignificante, por lo que la vegetación no poseería la capacidad de influir en la textura en el corto plazo.

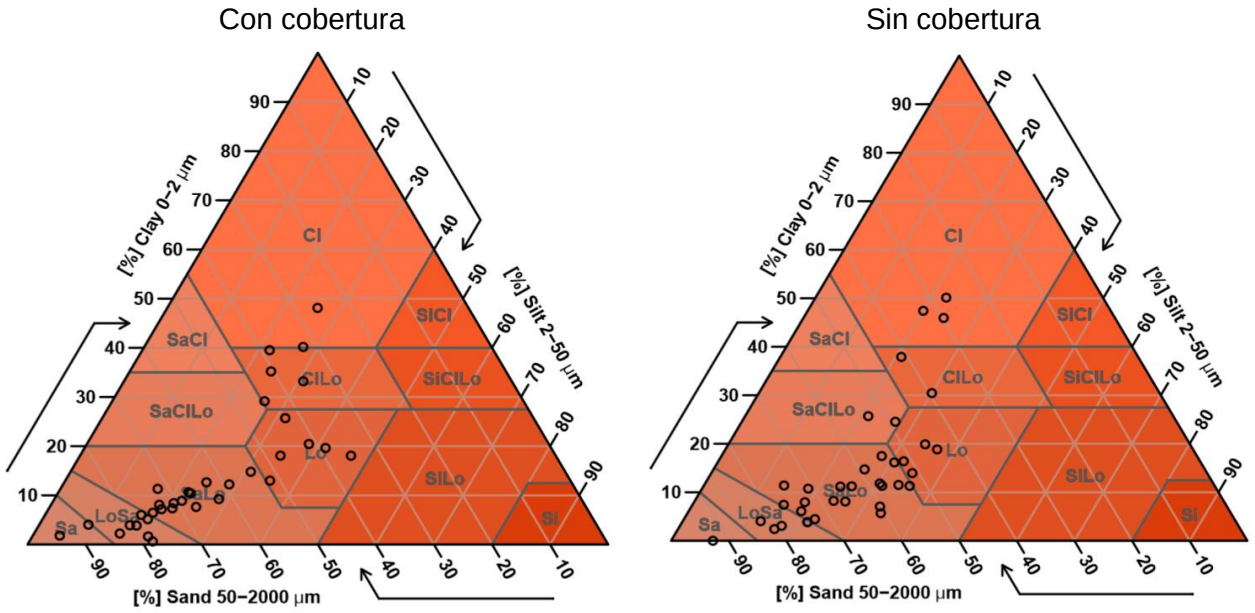


Figura 35: Clases texturales presentes en los suelos de estudio (triángulo textural USDA). **Cl**: Arcilla, **SaCl**: Arcillo arenoso, **SaClLo**: Franco arcillo arenoso, **ClLo**: Franco arcilloso, **Lo**: Franco, **SiCl**: Arcillo limoso, **SiClLo**: Franco arcillo limoso, **SiLo:** Franco limoso, **Si**: Limo, **SaLo**: Franco arenoso, **LoSa**: Arena franca, **Sa**: Arena.

Los resultados obtenidos para conductividad hidráulica saturada muestran que los sectores de estudio presentan un grado de permeabilidad bajo a medio de los suelos, no superando los 248 cm/día (sector de Las Cardas), al evaluar este parámetro por cobertura no se observaron diferencias significativas en ninguna de las localidades de estudio (Tabla 5), demostrando que la presencia de cobertura de guayacán no genera grandes variaciones para la conductividad hidráulica saturada en los primeros centímetros del suelo.

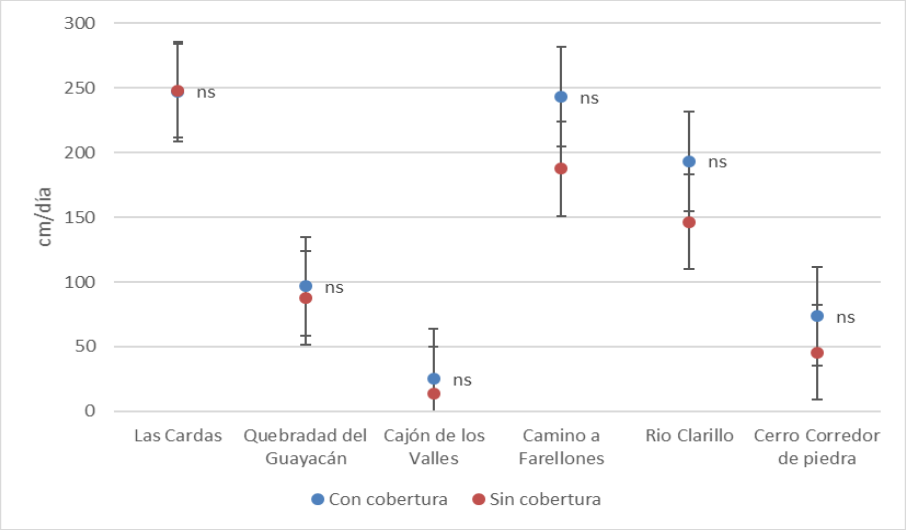


Figura 36. Valores medios de conductividad hidráulica saturada por sector y cobertura. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

4.4.3.2 Efecto de la cobertura en las propiedades químicas a nivel superficial

Al evaluar los resultados de pH se observó que las poblaciones de guayacán crecen principalmente en suelos moderadamente ácidos a neutros, no superando los 7,3 de pH en los primeros centímetros de suelo (situación observada en Las Cardas), en general se encontró un mayor pH bajo cobertura que fuera de ésta, sin embargo, solo en el sector de Rio Clarillo se observaron diferencias significativas en función de la cobertura (Tabla 5). Como se observa en la Figura 37, el pH tiende a disminuir de norte a sur, pudiendo encontrarse suelos con un pH muy fuertemente ácido en Camino a Farellones, Rio Clarillo y Cerro Corredor de Piedra, este aumento de acidez puede estar explicado por la mayor cantidad de precipitación que se concentra en esta zona, favoreciendo la lixiviación de las bases del suelo y promoviendo la acidez; en cambio en la zona norte de estudio, la escasez de agua impide el lavado de las bases y al mismo tiempo, se genera un mayor aporte de bases derivado de la intemperización. El pH es un fuerte indicador de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, observándose que los sectores localizados en la zona norte de estudio (Las Cardas a Cajón de los Valles) se encuentran dentro del rango con una mayor disponibilidad, sin embargo, el resto de las localidades de igual manera presentó poblaciones de *P. chilensis* es buen estado aparente, mostrando que esta especie es capaz de crecer y de desarrollarse bajo condiciones de suelo poco favorables.

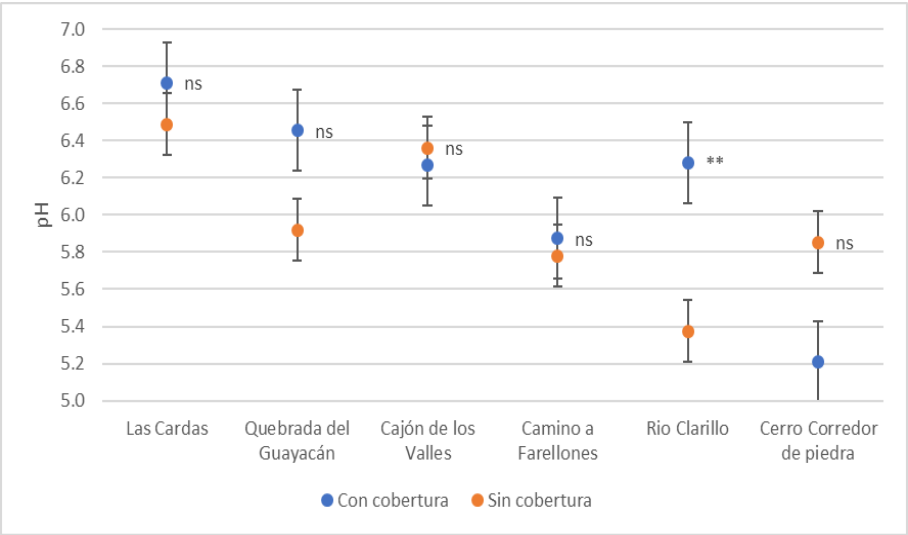


Figura 37: Valores medios de pH por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

En cuanto al contenido de materia orgánica es posible observar que las mayores diferencias se observaron en la zona sur de estudio, pudendo encontrarse casi el doble de materia orgánica bajo cobertura que fuera de ésta, sólo en Las Cardas y Quebrada del Guayacán no se evidenciaron diferencias significativas por cobertura (Tabla 5), este elemento es el que presentó la mayor diferencia entre coberturas evaluadas por localidad de estudio, siendo el más variable y dinámico de los parámetros evaluados.

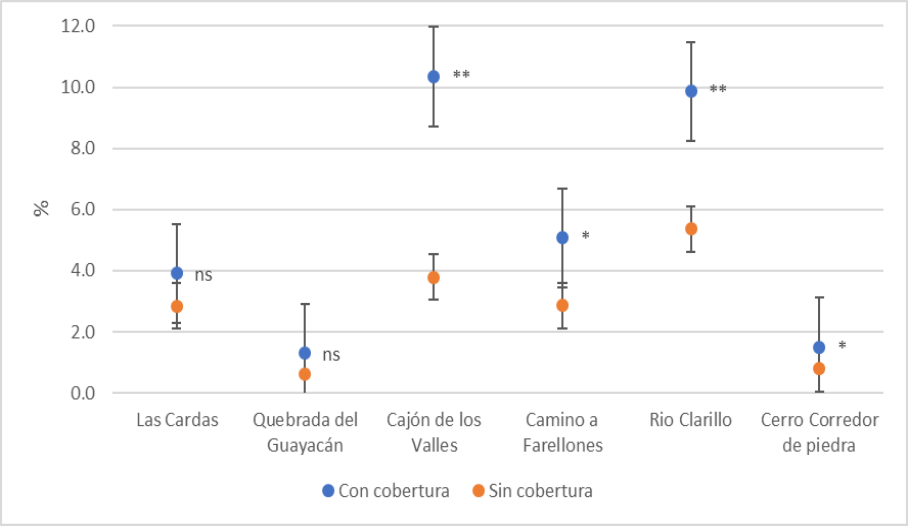


Figura 38. Valores medios de materia orgánica por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

Al evaluar la conductividad eléctrica se observó que los primeros centímetros de suelo poseen características no salinas, presentando muy baja concentración de sales solubles, en todos los sectores de estudio se encontró una mayor conductividad bajo cobertura que fuera de ésta, sin embargo, sólo en el sector de Cerro Corredor de Piedra se observaron diferencias significativas al ser evaluadas por cobertura, una característica de este sector es que la textura de los suelos analizados poseen un alto contenido de partículas finas (limos y arcillas) y un bajo porcentaje de materia orgánica, esto puede asociarse a que las partículas finas poseen un importante contacto partícula-partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, por lo que permiten conducir mejor la electricidad.

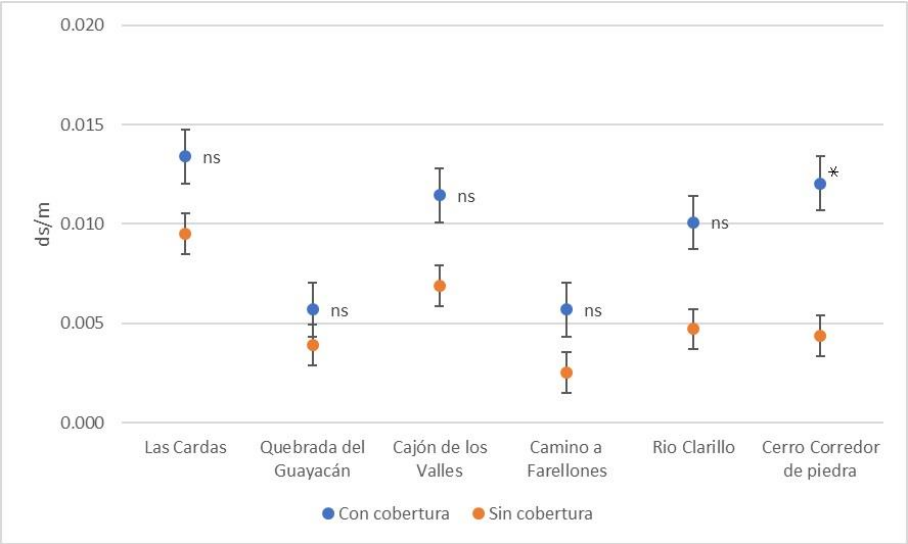


Figura 39. Valores medios de conductividad eléctrica por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

Los resultados de fósforo disponible no entregan diferencias significativas al ser evaluados por cobertura, siendo los valores promedio bajo y fuera de cobertura de guayacán de 53 mg/kg y 48 mg/kg, respectivamente. El sector de Las Cardas fue el lugar que presentó, en promedio, la menor concentración de fósforo disponible, con 43 mg/kg. Estos resultados pueden estar explicados, en parte, por la poca solubilidad que tiene este elemento en el medio, haciéndolo un elemento de baja movilidad.

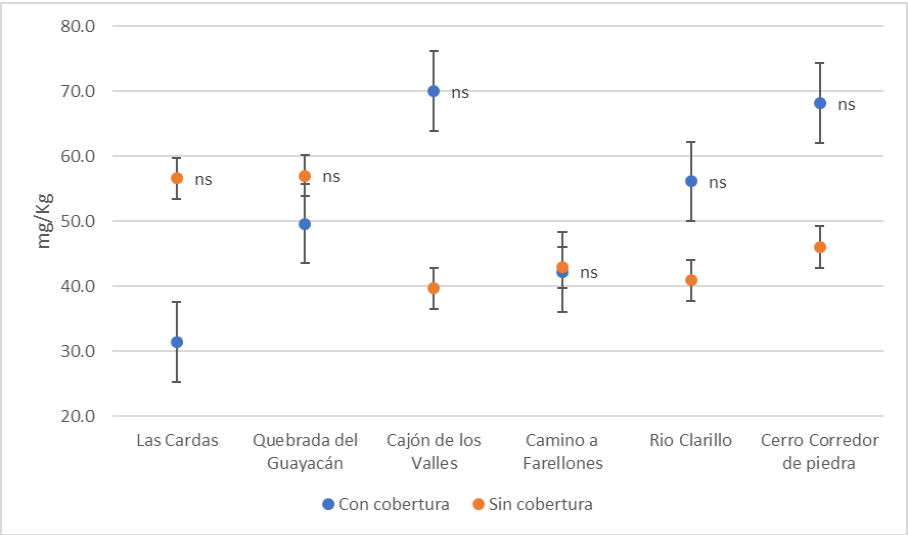


Figura 40. Valores medios de fósforo disponible por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

Las concentraciones de nitrógeno total, encontrado en el suelo, muestran que a excepción de Camino a Farellones, todos los sectores presentan una mayor concentración de este elemento bajo cobertura que fuera de ésta, sin embargo, no presentan en ninguno de los sectores de estudio diferencias significativa en la concentración de este elemento, demostrando que el nitrógeno total encontrado en los primeros horizontes no se ve influenciado por la cobertura de copas de *P. chilensis.*

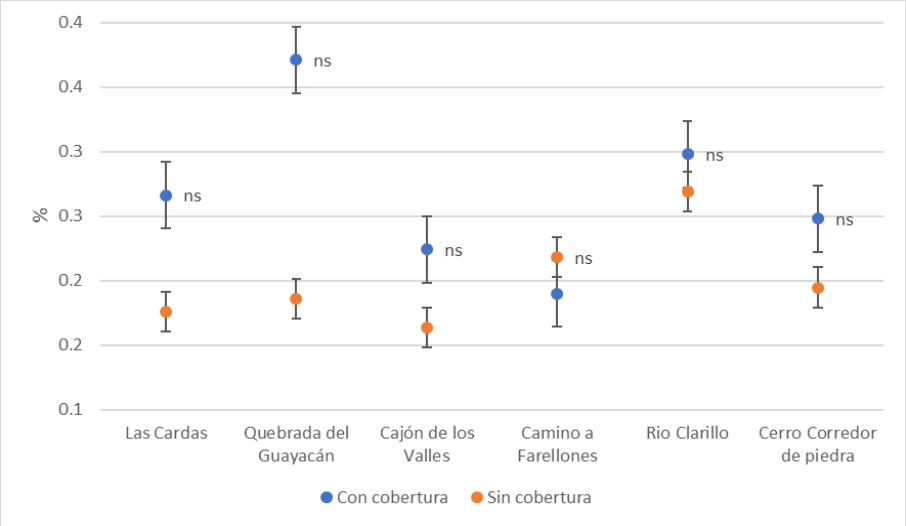


Figura 41. Valores medios de nitrógeno total por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

En cuanto al nitrógeno disponible, presentó un mayor valor bajo cobertura que fuera de ésta, para todos los sectores de estudio, sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas en ninguna de ellas, demostrando que el nitrógeno disponible no es un elemento que presente variación con la presencia de *P. chilensis* en el sector. Además, no se evidencia una relación de concentraciones entre N total y disponible al ser contrastados por localidad y cobertura, mostrando que un sector con una alta concentración de nitrógeno total no necesariamente será un sector con una mayor concentración de nitrógeno disponible, sin embargo, se observa una tendencia relacionada con el contenido de materia orgánica por sector, haciéndose más evidente en los sectores de Camino a Farellones y Rio Clarillo (Tabla 5).

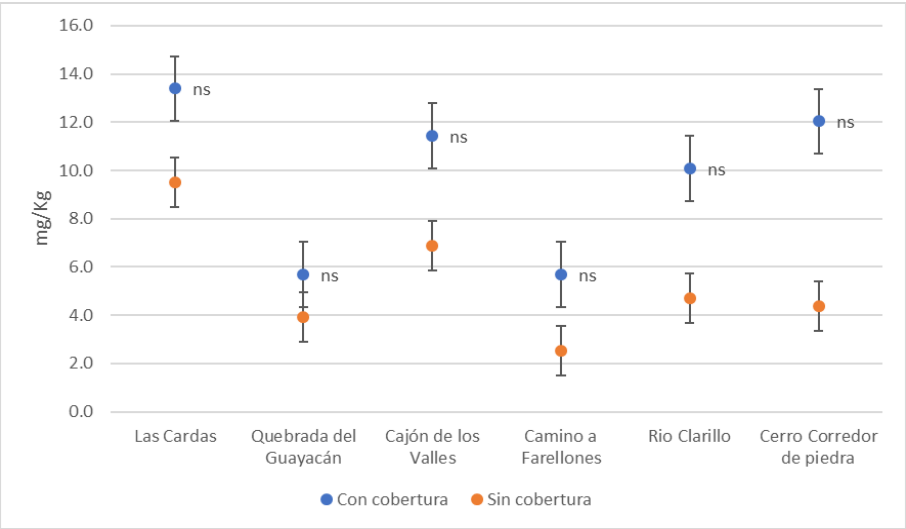


Figura 42. Valores medios de nitrógeno disponible por sector y cobertura en los primeros 10 cm de suelo superficial. ns: Diferencias no significativas, *: Significancia del 95%, **: Significancia del 99%, ***: Significancia del 99,9%. Barras representan el error estándar.

Tabla 5: Características químicas obtenidas en los primeros cm de suelo bajo y fuera de cobertura de *P. chilensis* por sector de estudio.

Las Cardas		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\overline{X}$	247,1 (148)	6.71 (0.67)	3.91 (2.07)	0.14 (0.07)	31.43 (32.48)	0.27 (0.04)	13.39 (7.60)
Sin cobertura	$\overline{X}$	247,9 (59,6)	6.49 (0.37)	2.85 (0.76)	0.07 (0.02)	56.63 (26.90)	0.18 (0.10)	9.52 (3.41)
p value		0.20	0.49	0.27	0.05	0.04	0.09	0.34

Quebrada del Guayacán		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\overline{X}$	96,5 (68,5)	6.46 (0.53)	1.30 (0.46)	0.42 (0.37)	49.64 (24.42)	0.37 (0.35)	5.69 (3.92)
Sin cobertura	$\overline{X}$	87,6 (39,3)	5.92 (0.36)	0.61 (0.27)	0.10 (0.03)	57.02 (22.16)	0.19 (0.09)	3.92 (3.67)
p value		0.134	0.068	0.012	0.0104	0.596	0.423	0.337

Cajón de los Valles		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\overline{X}$	25,1 (16,4)	6.27 (0.76)	10.34 (3.46)	0.21 (0.08)	70.02 (42.40)	0.22 (0.08)	11.43 (7.10)
Sin cobertura	$\overline{X}$	13,4 (14,1)	6.36 (0.45)	3.79 (1.46)	0.09 0.10 ()	39.68 (22.56)	0.16 (0.17)	6.88 (9.70)
p value		0.205	0.794	0.00162**	0.0547	0.153	0.055	0.262

		Camino a Farellones						
		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\bar{X}$	243,2 (95)	5.88 (0.72)	5.07 (1.45)	0.05 (0.03)	42.21 (21.18)	0.19 (0.05)	5.69 (4.70)
Sin cobertura	$\bar{X}$	187,4 (66,7)	5.78 (0.63)	2.86 (1.66)	0.03 (0.02)	42.90 (20.38)	0.22 (0.16)	2.52 (1.27)
p value		0.09	0.812	0.0349*	0.26	0.956	0.93	0.142

		Rio Clarillo						
		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\bar{X}$	193,4 (94,4)	6.28 (0.45)	9.86 (1.82)	0.31 (0.50)	56.14 (35.65)	0.30 (0.11)	10.08 (6.16)
Sin cobertura	$\bar{X}$	146,5 (33,1)	5.38 (0.24)	5.37 (2.31)	0.05 (0.02)	40.88 (29.25)	0.27 (0.14)	4.71 (0.90)
p value		0.1495	0.00147**	0.0039**	0.0104	0.437	0.694	0.0609

		Cerro Corredor de Piedra						
		K (cm/día)	pH	MO (%)	CE (Ds/m)	P (mg/Kg)	Nt (%)	Ndisp (mg/Kg)
Con cobertura	$\bar{X}$	73,5 (67,9)	5.21 (0.59)	1.49 (0.53)	0.30 (0.15)	68.17 (28.97)	0.25(0.18)	12.04 (7.59)
Sin cobertura	$\bar{X}$	45,7 (36,7)	5.85 (0.88)	0.80 (0.22)	0.07	46.03 (36.34)	0.13	4.39 (3.80)
p value		0.245	0.167	0.0137*	0.0147*	0.27	0.575	0.0518

*P<0.05; **P<0.01
K: Conductividad hidráulica saturada; MO: Materia orgánica; CE: Conductividad eléctrica; P: Fósforo disponible; Nt: Nitrógeno total; Ndisp: Nitrógeno disponible

4.5 Lineamientos de una propuesta de conservación

En función de los antecedentes recopilados, se ha podido observar que *P. chilensis* posee la capacidad de crecer en zonas con prolongados periodos de sequía, en suelos de pH medianamente a moderadamente ácidos, no salinos, muy variables en profundidad efectiva y pedregosidad. Se detectaron, además, procesos frecuentes de alteración de origen antrópico, tales como la presencia de ganado bovino y caprino, y habilitación de sectores para la agricultura y expansión urbana. Estos factores han influido en el deterioro continuo de la especie, un empobrecimiento de las comunidades y fragmentación de las poblaciones de guayacán, creando así un retroceso en el normal desarrollo de éstas.

Bajo el presente escenario, de constante presión, es que se hace necesario el establecer los lineamientos iniciales de un plan de conservación que busque disminuir los procesos degradativos y mejorar la actual condición en que se encuentran las poblaciones de *P. chilensis,* incorporando como variable algunas características edáficas en que se encuentra la especie.

Es importante mencionar que el área de distribución de guayacán coincide con el área de mayor presión antrópica en el país, donde la expansión urbana y el cambio de uso de suelo son evidentes. Es por esto, que los lineamientos estratégicos deben incorporar las variables de presión humana en el análisis, por cuanto es la única manera de disminuir el impacto que dichas variables generan en las poblaciones de guayacán.

Dadas las condiciones actuales de los ecosistemas de *P. chilensis*, con un alto componente de presión antrópica, el lograr revertir los estados estructurales y de composición actuales a condiciones prístinas parece ser un camino poco viable; siendo entonces los procesos de rehabilitación ambiental una mejor alternativa. Estos procesos de rehabilitación buscarían mejorar la estructura y composición de las comunidades, como también las funciones ecológicas que brindan dichas estructuras.

4.5.1 Lineamientos estratégicos para la conservación de *Porlieria chilensis*

4.5.1.1 Evaluación de los factores condicionantes de degradación de P. chilensis

Los principales factores a considerar para establecer los lineamientos estratégicos para la conservación de guayacán son aquellos que generan, de manera directa o indirecta, un deterioro permanente en las actuales poblaciones, los cuales son:

- Actividad ganadera: La continua presión de la ganadería, junto a otros factores que deterioran un ecosistema natural pueden ocasionar un cambio permanente del paisaje, producido por los cambios en el patrón natural de dispersión de semillas y deterioro de algunas especies producto del ramoneo constante (Fuentes, Avilés y Segura1989), también se ha observado un efecto negativo en el componente suelo, a través del deterioro de su calidad y características físicas, haciendo propenso a la erosión (Zuo *et al*., 2008; Zhou *et al*., 2010), como así también, se ha evidenciado el efecto del pastoreo del ganado asociado a una disminución de la cobertura vegetal nativa y aumento de exóticas, disminución de la cubierta de hojarasca y criptógamas, pérdida de microtopografía del suelo superficial, aumento de la erosión, cambios en las concentraciones de nutrientes del suelo, degradación dela estructura del suelo superficial, disminución del agua del suelo y tasa de infiltración y modificación en el microclima cercano al suelo (Yates, Norton y Hobbs, 2000).

  En función de los sitios prospectados fue posible evidenciar la constante presencia del ganado caprino y bovino. La presencia de animales de ganadería genera un permanente

ramoneo de los individuos y disminución de la cantidad de hojarasca bajo las copas de guayacán producto de la utilización de esos sectores como cobijo (Figura 43).

Camino a Farellones | Cajón de los Valles | Rio Clarillo

Figura 43: Guayacanes afectados por ganado. Nótese el gran efecto de ramoneo en la imagen central.

- Cambio de uso de suelo: Diversos estudios demuestran los efectos negativos que posee el cambio de uso de suelo en los componentes suelo y vegetación, generando un empobrecimiento de la calidad de suelo, como así también, de la riqueza y abundancia vegetacional (Bahrami *et al*., 2010; Ayoubi *et al*., 2011; Abad, Khosravi y Alamdarlou, 2014), derivando a un empobrecimiento del suelo, fragmentación y disminución de la superficie con ecosistemas naturales, como también, una disminución de la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos (León-Muñoz *et al*., 2017)

  Las poblaciones en estudio se encontraron cercanas a sectores utilizados para la agricultura, la cual ha transformado de manera paulatina el paisaje natural, generando la fragmentación de las comunidades vegetacionales nativas, entre las que se encuentra guayacán. Las poblaciones de guayacán que mayormente evidenciaron el efecto de cambio de uso de suelo se localizaron en los sectores de Camino a Farellones y Cerro Corredor de Piedra (Figura 44).

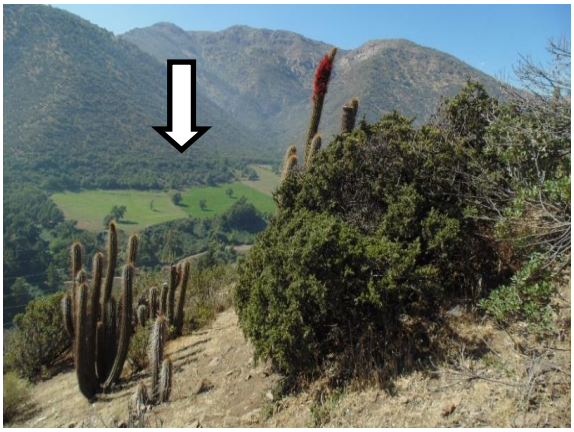


Figura 44: Predios de uso agrícola que generan la fragmentación de la matriz natural.
Foto izquierda Camino a Farellones, Región Metropolitana y foto derecha sector Cerro Corredor de Piedra en la Región de O´Higgins.

4.5.1.2 Acciones a realizar

La presente propuesta se basa en las acciones definidas con el fin de mejorar la condición actual de las poblaciones de guayacán y el ecosistema en donde se encuentra actualmente, es por esto que la evaluación de los lineamientos establecidos debe ser visto desde un contexto global, pudiendo formar parte de un programa de la zona central del país, enfocado en el ecosistema semiárido de Chile.

Debido a que las poblaciones encontradas responden a una conformación de parches sobre el territorio, no encontrándose grandes extensiones de esta especie de manera continua, es que el lineamiento estratégico para guayacán considerará dos grandes etapas que busquen, en conjunto, mejorar el estado actual de esta especie dentro de su distribución en el país. Para esto, se considerará en una primera etapa trabajar sobre las poblaciones existentes, de manera tal, de mejorar la composición y estructura de éstas, para lo cual se establecerán objetivos y acciones generales (Tabla 6) y en donde cada acción definida tendrá diversas actividades a realizar para el logro de cada una de éstas, mientras que en una segunda etapa se establecerán los lineamientos y acciones específicas para definir sectores potenciales de hábitat para guayacán, incrementando la superficie actual de presencia de la especie, y estableciendo una mejor conectividad de individuos y flujo genético.

Los objetivos y acciones planteados para cada etapa se basarán en la detección de los factores, ambientales y/o antrópicos, que pudiesen estar ocasionando el continuo deterioro de

las poblaciones de guayacán, y las acciones que se pueden adoptar para mejorar la situación actual, siendo éstas evaluadas y monitoreadas cada cierto periodo de tiempo con la finalidad de detectar posibles falencias, y establecer modificaciones al plan inicial que permitan lograr el éxito de cada objetivo propuesto, es por esto que el presente plan se basará en establecer los lineamientos de conservación bajo un modelo de manejo adaptativo (Figura 45).

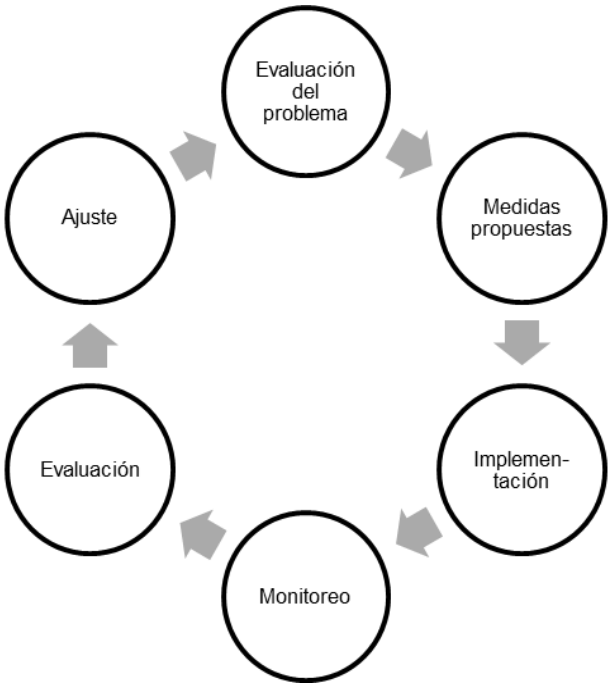


Figura 45: Esquema de manejo adaptativo.
Fuente: Modificado de Walter 1986

4.5.1.3 Horizonte de tiempo

Como el plan de conservación pretende mejorar la condición actual de *P. chilensis*, es que el horizonte de tiempo estimado dependerá de la etapa propuesta, es por esto que para la primera etapa del plan se espera lograr la totalidad de las metas planteadas dentro de un periodo de 15-25 años, considerando que varias acciones establecidas se lograrán realizar, analizar y mejorar en un periodo menor. Sin embargo, otras necesitarán un mayor periodo de tiempo para corroborar su eficacia, mientras que para la segunda etapa (Incrementar la superficie de cobertura de *P. chilensis*), se considerará un mayor horizonte de tiempo debido a las implicancias que poseerá y la interacción que se generarán con variables territoriales, por lo que se espera realizar las acciones de conservación en un periodo de 25-35 años.

4.5.2 Primera etapa

Objetivo: Mejorar el estado actual de las poblaciones donde habita *P. chilensis*.

Línea de acción 1: Incrementar la investigación y conocimientos de *Porlieria chilensis* y los ecosistemas donde habita.

Antes de establecer propuestas y acciones de rehabilitación es necesario conocer el escenario el cual se está enfrentando, considerando el conocimiento de la autoecología de la especie de interés y de la ecología y dinámica de los bosques donde se desarrolla (CONAF 2005), como así también, de sus estrategias morfo-fisiológicas y sus límites en cuanto al estrés ambiental en los diferentes estados de desarrollo.

Actividad 1: Se propondrán alianzas de cooperación con centros de investigación, universidades, investigadores y otros centros de estudio que estén interesados en realizar proyectos de investigación relacionados a guayacán, con la finalidad de apoyar y facilitar las investigaciones y monitoreos en torno a la especie. También se evaluará la posibilidad de establecer vínculos de cooperación con aquellas empresas y entidades privadas que actualmente hagan uso (o que en un futuro se planifique hacerlo), dentro de territorio donde crece guayacán

Actividad 2: Elaboración de protocolo que oriente las investigaciones, con la finalidad que la totalidad de éstas estén acorde a los objetivos de conservación de la especie.

Actividad 3: Elaboración de base de datos con la información científico-técnica existente de *P. chilensis*, los ambientes donde esta especie crece y toda información que pudiese estar vinculada a la dinámica de crecimiento de guayacán.

Línea de acción 2: Búsqueda de fuentes de financiamiento que permita incrementar la investigación referente al presente plan.

La investigación referente a la conservación, tanto de guayacán como de los ecosistemas donde habita, son necesarios a lo largo de todo el transcurso del plan ya que éstas darán las directrices que guíen en el cumplimiento del objetivo de conservación.

Línea de acción 3: Elaboración de un plan de educación ambiental, difusión y participación de las comunidades aledañas (CONAF 2005).

Todas las poblaciones en estudio compartían la característica de estar cerca de centros poblados, por lo que muchas veces ocurre que, a pesar de conocer la existencia de *P. chilensis* dentro del territorio, no existe un mayor conocimiento de esta especie y por ende, una valoración de sus cualidades y estado actual en que se encuentra, es por esto que es importante comprometer a la ciudadanía, logrando crear identidad y sentido de pertenencia con el recurso florístico de la zona, y en especial con las especies con problemas de conservación.

Actividad 1: Proyectos de sensibilización en terreno con las comunidades aledañas y socios locales (propietarios de terrenos y empresas), realizando conjuntamente un diagnóstico en las comunidades locales del conocimiento, conservación y recuperación de la especie.

Actividad 2: Elaboración y difusión de talleres que tengan como fin realzar el valor y la utilidad de la especie, en términos ecológicos y sociales. Para así lograr que las comunidades se sientan identificadas con la especie y puedan reconocer en su conservación oportunidades, brindando educación cultural y científica, dando a conocer el rol de la especie en el ecosistema y el efecto de perturbaciones antrópicas sobre la biodiversidad, y como se puede llegar a reducir las amenazas e incluso recuperar la especie en base a la sustentabilidad ecosistémica y social.

Actividad 3: Realización de actividades para la sustentabilidad comunitaria y conservación, resaltando el valor patrimonial, turístico y escénico de las especies del bosque esclerófilo, con énfasis en guayacán. Destacando las técnicas de su cultivo *ex situ*, para la plantación en las propiedades de las comunidades.

Actividad 4: Incorporar la problemática de la conservación y recuperación de los ecosistemas semiáridos en los planes de educación formal y no formal, en su área de distribución natural.

Línea de acción 4: Vincular a los actores políticos y organizaciones influyentes en la toma de decisiones (CONAF 2005).

Junto con incrementar el conocimiento de la población vinculada a guayacán, es importante sensibilizar a las autoridades regionales, comunales y locales en este tema, dándoles a conocer de igual manera de las acciones que se pretenden seguir para la conservación de guayacán.

Actividad 1: Establecimiento de alianzas de cooperación con las organizaciones comunitarias y territoriales para incidir en políticas, y prácticas del sector público y privado que afecten a la conservación de sus recursos naturales. Bajo esta actividad, se debe considerar el rol que juegan las diferentes entidades gubernamentales que fiscalizan los proyectos y actividades (CONAF principalmente) que afectan superficies con guayacán, para esto se evaluará la eficacia que presentan las medidas implementadas y destinadas a mitigar, conservar o recuperar guayacán en los últimos años, y establecer nuevas propuestas de conservación de la especie. También, bajo esta actividad se contempla la incorporación a los planes reguladores de cada comuna el aporte y beneficios que entregan los diferentes ecosistemas a la comunidad. presente (servicios ecosistémicos).

Actividad 2: Posicionar el tema del deterioro de las poblaciones de guayacán ante las instancias de toma de decisiones respecto de la urgencia de conservar y recuperar a la especie.

Línea de acción 5: Mejoramiento de la estructura y composición de las comunidades seleccionadas donde crece guayacán.

En una primera instancia se seleccionarán poblaciones de análisis y estudio a lo largo de la distribución natural de guayacán, con la finalidad de abarcar la mayor cantidad de ambientes posibles donde crece naturalmente esta especie, por lo que las siguientes acciones serán elaboradas y establecidas de modo general, pudiendo establecerse modificaciones a la estructura propuesta si así lo requiriere, respondiendo a la metodología de manejo adaptativo.

Actividad 1: implementación de cercados en algunos sectores de estudio para erradicar la presencia de ganado, y evaluar el impacto que posee este sobre la especie y las poblaciones. Dentro de estos sectores se propone habilitar áreas para evaluar los cambios que se generen a través de una rehabilitación pasiva, mientras que otros se realizarán acciones conjuntas para acelerar este proceso (rehabilitación activa), de igual manera se realizarán actividades en sectores sin cerco para evaluar el nivel de cambios en el ambiente producto de la implementación de cercos y diversas actividades planificadas (restauración pasiva y activa)

Las áreas cercadas, junto con las que no poseerán cerco, permitirán establecer el grado de impacto y recuperación que poseen las poblaciones de guayacán al ser comparadas ante estos dos escenarios. Como se mencionó anteriormente, se observó lo habitual que era la implementación del dosel de guayacán como refugio y resguardo de sombra por parte del ganado, ocasionando la remoción de la hojarasca y primeros horizontes bajo la copa junto con una modificación del microclima que ahí se genera. También, se evaluará el impacto que tiene la presencia de especies exóticas bajo estos dos escenarios, pudiendo establecerse estudios referentes al periodo de retorno que poseen si es que son removidos del ecosistema, entre otros análisis.

Actividad 2: Establecimiento de técnicas de manejo de la vegetación y del entorno enfocadas en el mejoramiento de las condiciones micro-ambientales que favorezcan el crecimiento y reclutamiento de nuevos individuos a la comunidad.

Porlieria chilensis es una especie adaptada a los ecosistemas áridos y semiáridos en Chile, por lo que ha generado mecanismos para optimizar el recurso hídrico, y mejorar las condiciones microclimáticas para el crecimiento del individuo y del reclutamiento. Se ha evidenciado que esta especie es capaz de realizar levantamiento hidráulico (Muñoz *et al*., 2008), desde los estratos inferiores del suelo, esto junto con la sombra abundante que es capaz de generar bajo su copa forma las condiciones ideales para que bajo esta especie se lleve a cabo la aparición de nuevos individuos.

Es por lo anterior que implementar técnicas de manejo de la vegetación y el entorno destinadas a generar las condiciones adecuadas para el establecimiento de nuevos individuos bajo la copa de *P. chilensis*, mejorará la estructura general de la comunidad e incrementará la cantidad de individuos de guayacán, para esto, se implementarán las siguientes medidas:

Barrera natural: Se escogerán individuos semilleros que presenten un deterioro de su copa (ramoneo y utilización de sombra), para incorporar bajo ella materia orgánica que aporte con nutrientes a medida que se descomponga, genere sombra en los primeros centímetros de suelo, disminuya la cantidad de arrastre de nutrientes por escorrentía y funcione como barrera natural para el ganado que hace uso de las copas de guayacán. Se incorporará materia orgánica en diferentes estados de descomposición, principalmente hojarasca y troncos, de esta manera se favorecerá en el aporte nutricional en diferentes periodos de tiempo.

El porcentaje de materia orgánica encontrado en los sectores de estudio, demostró el efecto significativo que poseía la presencia de un individuo de *P. chilensis* en la cantidad de este elemento, siendo considerablemente mayor bajo la cobertura de guayacán que fuera de ésta. La materia orgánica está relacionada directamente con la humedad y cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, el déficit de agua se manifiesta inmediatamente a través del crecimiento de los árboles, sin embargo, la humedad del suelo empieza a tener vital importancia para la planta desde el primer momento de su vida activa, es decir, desde el momento de la germinación de las semillas, las cuales si no cuenta con la suficiente cantidad de agua simplemente no son capaces de germinar. Por lo que este será un factor relevante para mejorar las condiciones microclimáticas actuales del individuo y, al mismo tiempo, del reclutamiento de nuevos ejemplares; es por esto que se implementarán hojarasca, ramas y troncos de menor tamaño provenientes del mismo sector que se encuentren de individuos muertos, o en desmoronamiento y que tengan un aspecto sano, libre de plagas y enfermedades.

Figura 46: Esquema de establecimiento de barrera natural bajo copas de *P. chilensis*.

Eliminación de especies exóticas: Muchas especies exóticas tiene la particularidad de ser altamente competitivas por los recursos existentes, esto ocasiona la disminución de la cantidad total de recursos otorgados a especies nativas, por lo que se realizarán operaciones de erradicación de especies exóticas, colocando especial énfasis en aquellas invasoras.

Sombreadero para ganado: Debido a la densa copa que poseen algunos individuos de guayacán es que el ganado la utiliza para resguardarse del calor en época estival, es por esto que se planificará diseñar sectores de sombra para ganado y que consideren incorporar sectores de bebederos, esto se realizará en áreas con mayor actividad ganadera, pudiendo

utilizar las copas de otras especies que no presenten problemas de conservación, como es el caso de Q*uillaja saponaria, Lithraea caustica* y *Cryptocarya alba.*

Reforestaciones en núcleos: Este tipo de reforestación consiste en la plantación de pequeños parches de especies arbóreas, utilizados como áreas focales para la recuperación del sistema. Corbin y Holl (2012) sugieren que las plantaciones en núcleos son útiles en sistemas en donde el establecimiento y desarrollo de plántulas se encuentra limitado por condiciones de estrés ambiental, imitando los procesos de sucesión natural. Dentro de las ventajas observadas por la plantación en núcleos se encuentran (Shönenberger 2001): (a) la mortalidad de las plantas debería ser más baja que en plantaciones tradicionales, (b) el crecimiento de las plantas pueden llegar a ser mejores, debido a las condiciones microclimáticas que se pueden llegar a generar en cada uno de los núcleos, (c) las plantas que se encuentran fuera del núcleo tenderán a proteger a las plantas centrales del potencial daño por herbivoría, y (d) las plantas se protegerán de posibles daños por el viento y desecamiento. Asimismo, la reforestación en núcleo propicia la aparición de agentes dispersores (Yarraton y Morrison 1974; Corbin y Holl 2012), como así también, reduciría los costos de establecimiento (Saha *et al.*, 2013).

De acuerdo a los resultados de Morrison *et al*. (2010), para que las islas de vegetación logren re-establecer algunos procesos importantes del ecosistema, como polinización, dispersión de semillas, control de insectos herbívoros o formación de suelo, el tamaño de los bloques debe ser del orden de unos pocos miles de metros cuadrados (e.g., 2500 m^2). En parches mucho menores a este tamaño, de unos pocos cientos de metros cuadrados, la calidad o fuerza de estos procesos disminuye considerablemente. Sin embargo y considerando el nivel presupuestario del plan, es que se reevaluará el tamaño de la implementación de esta medida, evaluando el costo-beneficio producido.

A pesar de los beneficios, tanto ambientales como económicos que trae consigo la implementación de reforestaciones en núcleos, en el mediano y largo plazo, es común observar los sistemas de plantación por compensación realizados, principalmente en el área minera de nuestro país, donde a través de una extensa superficie se reforestan especies nativas en hileras, prefiriendo esta técnica por sobre la plantación en núcleos, dejando de lado los beneficios que puede aportar este método. El principal motivo de esta decisión, probablemente, está dado por los costos iniciales que incurre la planificación de la reforestación, dejando de lado los potenciales beneficios que trae la técnica de reforestación en núcleos. Sin embargo, sería interesante evaluar, al largo plazo, si la reforestación en hileras cumple el objetivo

ambiental de rehabilitar un sector imitando el paisaje natural de un bosque y al mismo tiempo, los costos asociados que conlleva el establecimiento e implementación de la reforestación.

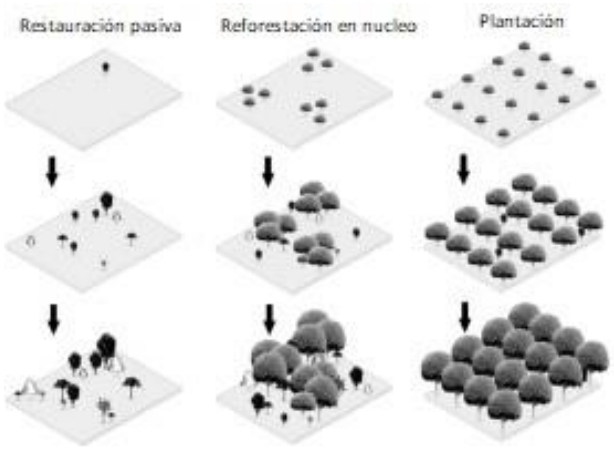


Figura 47: Esquema comparativo de diferentes técnicas de reforestación
Fuente: Adaptado de Corbin y Holl 2012

Se enriquecerán algunos sitios con *Porlieria chilensis*, las cuales se plantarán bajo la copa de individuos de mayor tamaño, de manera de imitar las técnicas naturales de crecimiento de esta especie (efecto nodriza), de esta manera se puede atenuar el estrés ambiental (e.g. sequía) o reducir la intensidad de alguna perturbación antrópica (e.g. herbivoría). Se seleccionarán los individuos nodrizas que presenten buenas condiciones para albergar la llegada de nuevos individuos, como una buena cantidad de hojarasca y una copa que genere sombra y barrera para animales mayores.

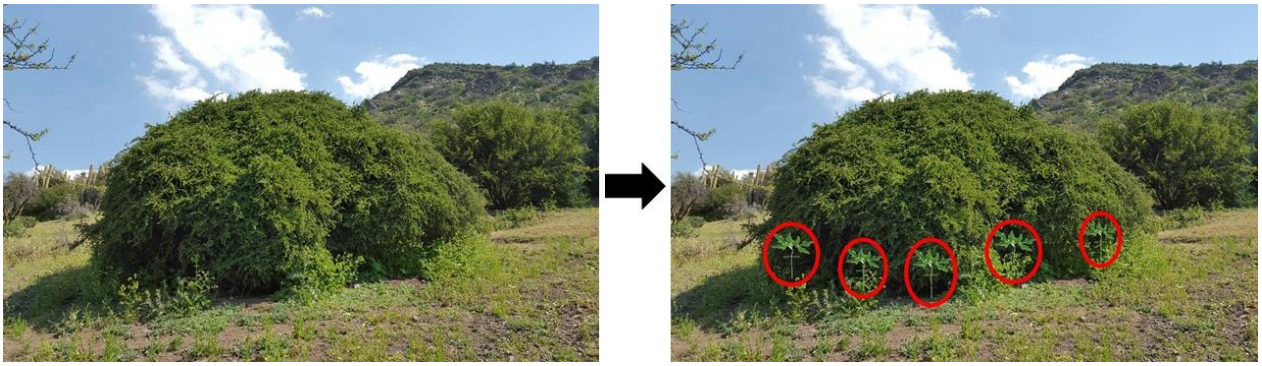


Figura 48: Esquema de incorporación de individuos bajo la copa de *P.chilensis.*

Actividad 3: Propagación *ex situ* de *Porlieria chilensis*, para planes de reforestación dentro de los ecosistemas degradados.

Se establecerán campañas de recolección de semillas para su propagación bajo condiciones controladas y obtener plántulas que serán reincorporadas bajo diferentes condiciones ambientales, modificando el grado de cobertura en que se encontrarán (siendo algunas plantadas bajo la cobertura de guayacán mientras que otras sin cobertura) o en sustrato rocoso, y bajo diferentes condiciones de exposición y pendiente, de manera tal de evaluar las preferencias ambientales que poseen los individuos jóvenes de guayacán.

Línea de acción 6: Realización de actividades destinadas a la prevención y control de los procesos erosivos

La degradación del suelo se refiere a alteraciones desfavorables, ya sean de naturaleza física-química o biológica, de una o más propiedades del suelo, la mayor parte de estas veces producidas por prácticas inadecuadas, siendo la actividad humana un promotor en las tasas de degradación del suelo. Gran parte de las zonas de estudio presentaron claros signos de alteración antrópica, siendo la utilización del suelo para la introducción del ganado la principal causa antrópica que podría deteriorar y degradar el suelo, es por esta razón que dentro del plan de conservación de guayacán se incorporan actividades destinadas a la prevención y control de potenciales sectores de ser degradados.

Las actividades necesarias para definir el criterio y acciones a seguir serán:

Actividad 1: Evaluación de algunas propiedades físicas y/o químicas de los suelos donde crece guayacán

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, las poblaciones de *P. chilensis* estudiadas presentan, en general, una plasticidad climática, geológica y geomorfológica, pudiendo crecer en sectores que presentan sequía prolongada como en sectores lluviosos con un rango de precipitación que oscila entre los 0 y 830 mm anuales y con temperaturas promedio entre 5 y 16°C. Esta especie puede crecer en sectores de planicie, piedmonts y laderas, con pendientes que bordean los 0 a 30% y altitud entre 340 y 1230 msnm. Sin embargo, al analizar algunas propiedades físicas y químicas de los suelos donde crece guayacán fue posible detectar algunos patrones de crecimiento que pudiesen ayudar en la detección y elección de los sitios más apropiados para el establecimiento de potenciales poblaciones de guayacán.

De esta manera, es posible mencionar que *P. chilensis* crece, preferentemente, en suelos con textura gruesa, donde la participación de las partículas de arena es considerable, siendo la principal clase textural observada la franca arenosa, sin embargo, de igual forma se observaron poblaciones de guayacán creciendo en sectores con suelos de textura arcillosa. También, se observó una prevalencia de crecimiento en suelo con pH medianamente a moderadamente ácidos. El nivel de pH tiene una asociación directa con la disponibilidad de nutrientes, siendo el óptimo un pH entre 6.0 y 7.0, esto demuestra que guayacán podría ser capaz de hacer recircular hacia las raíces los nutrientes que han sido acumulados y distribuidos en todo el organismo, a través de la caída de sus hojas y otros elementos, junto a esto, las extensas raíces pivotantes que presenta esta especie es capaz de obtener agua y nutrientes de estratos profundos del suelo, es por esto que probablemente la productividad de esta especie se encuentre más limitada por factores que restringen la extensión y profundidad del sistema radical que por aquellos factores que limitan la fertilidad en las capas superficiales del suelo.

Además de estas características, se observó que *P. chilensis* crece en suelos no salinos y con un mayor contenido de nitrógeno disponible en los primeros horizontes de estudio.

Las variables anteriormente mencionadas pueden servir como referente para la evaluación de nuevos sectores de reforestación de guayacán, demostrando que esta especie no posee grandes requerimientos nutricionales para su crecimiento y desarrollo.

Actividad 2: Definición y delimitación de macrozonas que presenten características ambientales comunes.

Se evaluaron las variables, tanto antrópicas como naturales, que poseen los diferentes sectores con presencia de guayacán para definir y delimitar macrozonas, el fin de esta delimitación consistió en la prevención y control del potencial deterioro del suelo que presente cada macrozona definida.

En función de los sectores de estudio y las características analizadas en la presente investigación, es posible identificar dos macrozonas, las cuales son:

- Macrozona de bosque esclerófilo con deterioro en la cubierta vegetal de la zona central: Esta macrozona se caracteriza por presentar un notorio deterioro antrópico en la cubierta vegetal producido principalmente por el constante ramoneo del ganado caprino y bovino, como así también, de la utilización histórica del recurso nativo para el uso de leña, carbón y

extracción de corteza. También, es posible identificar un notorio desarrollo urbano en constante expansión y una fuerte actividad económica.

- Macrozona centro norte con periodos de sequía y actividad ganadera: Esta macrozona no posee un notorio desarrollo urbano y económico como la anterior, sin embargo, presenta una constante presión de la actividad caprina en los diferentes sistemas naturales presentes, como así también, de la utilización histórica del recurso natural para el uso de leña, carbón y artesanía.

Actividad 3: Determinación de áreas prioritarias de manejo

Dada la extensa superficie que comprenden las macrozonas definidas es que se identificarán dentro de cada macrozona áreas prioritarias de manejo, de esta manera se establecerán diferentes grados de requerimientos de intervención y actividades a realizar.

Las principales variables que definirán estas áreas prioritarias serán en función del estado actual del suelo, esto en el sentido del grado de erosión actual y potencial, y uso actual del suelo, principalmente.

Actividad 4: Elaboración de una estrategia técnica y específica para cada macrozona definida

- Macrozona de bosque esclerófilo con deterioro en la cubierta vegetal de la zona central: la estrategia debe considerar el fortalecimiento de las instancias de regulación a la quema de rastrojos, y producción de leña y carbón, entre otras actividades, como también los programas de fomento de alternativas para estas actividades. Esto es, plantaciones forrajeras y endroenergéticas, utilización de rastrojos y uso de fuentes alternativas de energía, como por ejemplo la solar o eólica. También se deben considerar para prevenir y evitar los incendios de bosques y pastizales incentivando el empleo de métodos silvopastoriles, favoreciendo las plantaciones en forma de bosquetes.

- Macrozona centro norte con periodos de sequía y actividad ganadera: En esta zona se considerará como factor los procesos de desertificación potenciales de existir en los lugares donde crece guayacán, esto junto a la constante presión de los recursos naturales lleva a que la estrategia empleada para esta macrozona debe orientarse a disminuir la degradación causada por la sobreutilización de las áreas naturales, considerando actividades tales como:

- ✓ Estudio de nuevas alternativas ganaderas, invirtiendo en investigación científica, utilización de nuevas tecnologías e instrumentos financieros que posibiliten este cambio.
- ✓ Fomentar el manejo sustentable de las áreas de pastoreo
- ✓ Crear alternativas de captación y uso eficiente del agua

4.5.3 Segunda etapa

Objetivo: Incrementar la superficie de cobertura de *P. chilensis* dentro de su distribución natural.

Línea de Acción 1: Elaboración de un ordenamiento territorial y evaluación de tendencias de crecimiento de la población.

El ordenamiento territorial es fundamental para evaluar las áreas que no pueden ser utilizadas como sectores de rehabilitación de comunidades de guayacán, principalmente por el uso de suelo que actualmente poseen y que las hacen incompatibles con los objetivos de conservación, sin embargo, conocer las tendencias de crecimiento y expansión de estos usos permite definir áreas más acordes a la situación actual y futura.

En función del análisis de tendencias de expansión territorial se podrá vislumbrar las áreas naturales posibles de implementar planes de rehabilitación de ecosistemas degradados. Sin embargo, este es un primer paso para definir estas áreas, ya que existen otros factores fuera de la utilización del territorio que influyen en la elección de los sitios a rehabilitar, como es el tipo de propietario que posee el área, dando privilegio a aquellos sectores que son de origen público y luego se seleccionarán los sectores privados que muestren interés en la conservación de especies nativas (Parque o reservas privadas), considerando también la extensión territorial que abarque, ya que a mayor cantidad de propietarios mayor es la dificultad de negociación.

Actividad 1: Elaboración de un ordenamiento del territorio en la zona centro del país.

Se realizará un ordenamiento del territorio donde se especificará el uso actual que comprende al área de distribución natural de guayacán, con esta herramienta será posible visualizar y comprender la situación actual en que se encuentra y se podrá definir, con mayor precisión, las directrices a seguir para el cumplimiento del presente objetivo.

Actividad 2: Definición de potenciales áreas de rehabilitación y exclusión de sectores incompatibles con la conservación.

Con el conocimiento del uso actual que poseen las zonas de distribución de guayacán, será posible establecer sectores para futuras actividades de rehabilitación, como así también, descartar aquellas zonas que por el uso actual que existe sobre ellas, sea incompatible la realización de actividades destinadas a la rehabilitación de *P. chilensis* como, por ejemplo, zonas urbanas, actividades mineras o agrícolas.

Actividad 3: Elaboración de estudios de tendencia de crecimiento poblacional de la zona centro del país.
Esta actividad busca elaborar un diseño y desarrollo de un modelo de la evolución demográfica de la población, utilizando como insumos variables demográficas, económicas, sociales y medioambientales. Con este modelo, será posible pronosticar la dinámica poblacional que podría afectar potencialmente sectores con presencia de *P. chilensis*, permitiendo evaluar las futuras acciones de conservación.

Línea de acción 2: estudio de los sectores potenciales para la implementación de planes de rehabilitación ambiental.

Actividad 1: Análisis de propiedad territorial en sectores de interés para la rehabilitación.

Actividad 2: Elaboración de un plan de trabajo con propietarios de zonas de interés para la conservación.

Esta actividad busca establecer mesas de diálogo con los propietarios para entregar propuestas de manejo compatibles con los fines de conservación de guayacán, pudiendo entregar beneficios o incentivos al realizar esta actividad, como es el caso de ecoturismo o turismo rural, u otra actividad económica compatible con las acciones de conservación.

Actividad 3: Elaboración de un plan de rehabilitación de las comunidades de guayacán considerando los criterios anteriormente propuestos, para cada escenario visible.

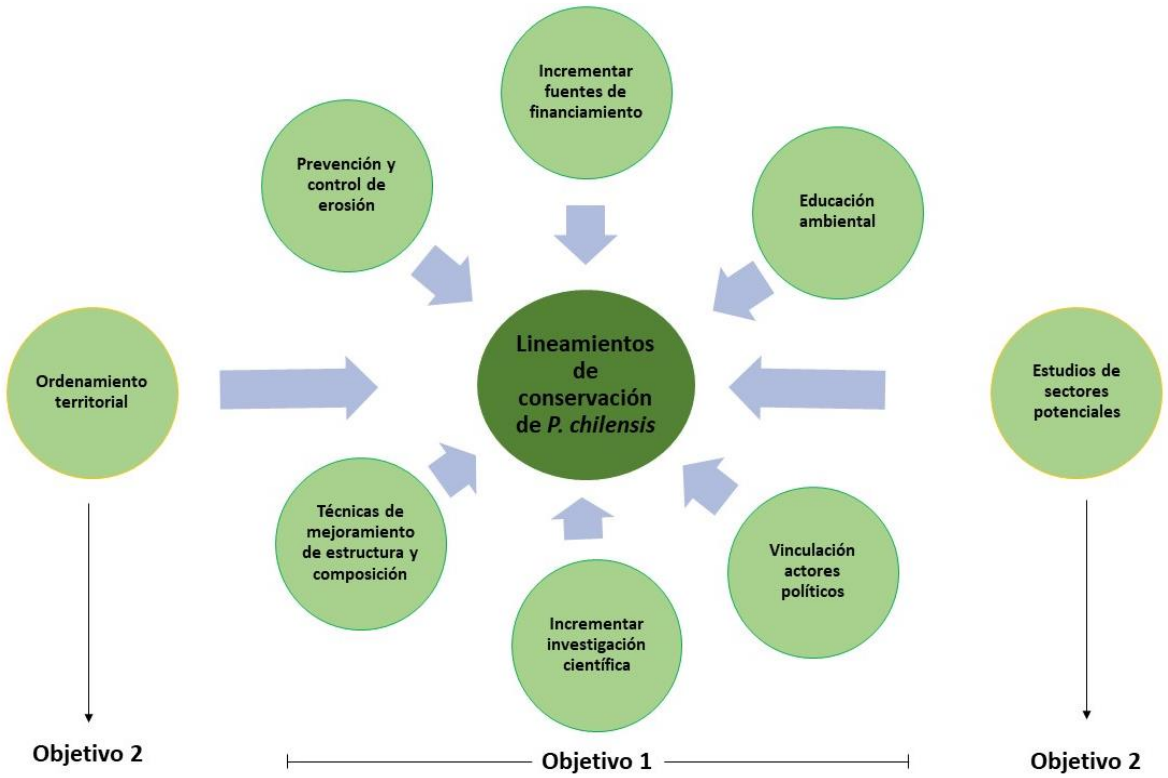


Figura 49: Esquema propuesto para establecer los lineamientos para la conservación de *P. chilensis,* dentro de un marco de manejo adaptativo.

Tabla 6: Tabla resumen actividades Plan de conservación de guayacán

Objetivo	Línea de acción	Actividad
Mejorar el estado actual de *P.chilensis*	Incrementar la investigación y conocimientos de *Porlieria chilensis* y los ecosistemas donde habita.	Alianzas de cooperación
		Elaboración de protocolo
		Elaboración de base de datos
	Búsqueda de fuentes de financiamiento	Búsqueda de fuentes de financiamientos dentro y fuera del país
	Elaboración de un plan de educación	Proyectos de sensibilización
		Elaboración y difusión de talleres
		Actividades para la sustentabilidad comunitaria y conservación
		Incorporar la problemática
	Vincular a los actores en la toma de decisiones	Establecimiento de alianzas de cooperación
		Posicionar el tema del deterioro de las poblaciones en la toma de decisiones
	Mejoramiento de la estructura y composición	Implementación de cercados
		Establecimiento de manejo de la vegetación y el entorno
		Propagación ex situ de *Porlieria chilensis*
	Prevención y control de los procesos erosivos	Evaluación de propiedades físicas y/o químicas del suelo
		Definición y delimitación de macrozonas
		Determinación de zonas prioritarias de manejo
		Elaboración de estrategia técnica para cada macrozona definida
Incrementar la superficie de cobertura de *P. chilensis*	Elaboración de un ordenamiento territorial	Elaboración de un ordenamiento del territorio
		Definición de potenciales áreas de rehabilitación
		Elaboración de estudios
	Estudio de los sectores potenciales	Análisis de propiedad territorial
		Elaboración de un plan de trabajo con propietarios
		Elaboración de un plan de rehabilitación

5. DISCUSIÓN

El sistema suelo es un sistema dinámico, y por ende tiene un origen y un desarrollo en el tiempo, este desarrollo estará influenciado por diferentes factores en mayor o menor medida, determinando características edafológicas y de vegetación que está presente. Al mismo tiempo, la presencia de vegetación influye en los procesos de cambio en el desarrollo del perfil edáfico, a través de su efecto sobre el microclima y aportes de nutrientes otorgados por la descomposición de la materia orgánica depositada en la superficie del suelo (Donoso, 1981). En los resultados obtenidos se corrobora esta aseveración al observar las variaciones que presenta la materia orgánica del suelo, mostrando diferencias tanto por cobertura como por localidad, siendo mayor la cantidad de materia orgánica bajo cobertura y en la zona centro de estudio (Tabla 5). Este fenómeno también observado en el P.N. Fray Jorge, donde Gutiérrez *et al.* (1993) encontraron una mayor concentración de fósforo y nitrógeno disponible, conductividad eléctrica y materia orgánica bajo la cobertura de individuos de guayacán que fuera de ésta, mientras que no se evidenciaron diferencias significativas para pH y potasio. Según los resultados obtenidos en la presente investigación la materia orgánica fue la principal propiedad que tuvo diferencias significativas según cobertura, mientras que el pH y la conductividad eléctrica sólo se encontraron diferencias significativas en la zona norte de estudio. En término de conductividad hidráulica saturada, fósforo disponible, nitrógeno total y disponible no evidenciaron diferencias por cobertura en ninguna de las localidades de estudio (Tabla 5).

Si bien se sabe desde hacen décadas que la caída de hojarasca puede llevar a una modificación significativa de la química del suelo bajo la cobertura de árboles y arbustos en ecosistemas áridos y semiáridos (Fireman y Hayward, 1952; Paulsen, 1953), desde hacen pocas décadas se ha incrementado el interés en evidenciar estos cambios en diversos ecosistemas (Tiedemann y Klemmedson, 1973; Weltzin y Coughenour, 1990; Gutiérrez *et al*., 1993). Las investigaciones en comunidades arbustivas en un ecosistema semiárido en Australia han establecido que existen gradientes horizontales y verticales marcados para el nitrógeno total, fósforo disponible, carbono orgánico y capacidad de mineralización del nitrógeno (Charley y Cowling, 1968, Cowling 1969; Weltzin y Coughenour, 1990). Según los resultados obtenidos por Tiedemann y Klemmedson, (1973) donde evaluaron la disponibilidad de nutrientes bajo la cobertura de *Prosopis juliflora* y fuera de ésta, se observó una concentración de hasta 15 veces mayor de nitrógeno disponible bajo cobertura y tres veces mayor de nitrógeno total, determinando que los suelos bajo la cobertura de *Prosopis juliflora* proporcionan un ambiente

mas favorable para el suministro de nitrógeno que el suelo sin la cobertura de esta especie, sin embargo, y al contrastarlo con los resultados obtenidos, es posible observar que no se registraron diferencias estadísticamente significativas por cobertura de guayacán para nitrógeno total y disponible, en ninguno de los sitios estudiados(Tabla 5). En cuanto al fósforo disponible mostró una ligera, aunque significativa diferencia en su disponibilidad, mientras que el fosforo total no, a diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación, donde el fósforo disponible no presentó diferencias significativas por cobertura. Sin embargo, y al igual que el estudio presentado por Tiedemann y Klemmedson (1973), se registraron diferencias significativas en la cantidad de materia orgánica bajo la cobertura que fuera de ésta (Tabla 5). Si la disponibilidad de nutrientes es evaluada en función de la profundidad de muestreo bajo la cobertura arbórea, fue posible observar en los resultados obtenidos que las concentraciones de materia orgánica fueron mayores cuando menor era la profundidad de muestreo, tanto fuera como bajo cobertura de guayacán (Tabla 4), sin embargo, bajo la cobertura de esta especie las concentraciones de materia orgánica fueron mayores que fuera de ésta, existiendo una leve asociación entre esta variable y el nitrógeno disponible, aunque para este último, la relación en función de la profundidad fueron menos notorias, estos resultados poseen una similitud con los obtenidos por Weltzin y Coughenour (1990), donde observaron una mayor concentración de carbono orgánico y nitrógeno total a menores profundidades de muestreo bajo la cobertura de *Acacia tortilis* en la sabana africana en el noreste de Kenia, determinando que la presencia de esta especie arbórea tiene un impacto positivo en la producción y composición de biomasa herbácea y en el estado de nutrientes del suelo.

Las clases texturales dominantes fueron moderadamente gruesas (52% de los horizontes de estudio), donde la principal clase textural observada corresponde a la franco arenosa. Sin embargo, un número no menor de horizontes presentó texturas más finas dado por la presencia de arcilla en su composición (sectores de Cajón de los Valles y Cerro Corredor de Piedra) (Tabla 3). Según Donoso (1981) los suelos que presentan en su composición un contenido considerable de arena se caracterizan por poseer bajos montos de escurrimiento superficial y al mismo tiempo poseer una baja capacidad de retención de agua. Por otra parte, la fracción gruesa del suelo se caracteriza por ser relativamente estéril, de modo que el aporte de nutrientes a la vegetación es escaso. Es por esto que la existencia de capas de material fino en el perfil puede compensar los efectos negativos de los horizontes con material de la fracción gruesa. A pesar de las limitantes anteriores, *P. chilensis* poseería la capacidad para obtener los

recursos desde estratos más profundos a través de su raíz pivotante, logrando así adaptarse a las condiciones desfavorables del medio.

Se observó que en casi la totalidad de los horizontes de estudio poseían una estructura del tipo subangular, encontrándose este tipo de estructura a lo largo del perfil y cobertura (con y sin cobertura) (Tabla 2). Una característica observada es que todos los horizontes que presentaron una estructura del tipo angular se encontraron en perfiles sin cobertura de guayacán. Los principales factores que determinan la estructura de un horizonte el contenido de materia orgánica, la textura, las raíces, hongos y microfauna. Según Brady (1974) los microorganismos, especialmente los hongos, juegan un rol importante en la acción aglutinadora y cementante que conduce a la estructura del suelo y a su mayor o menor estabilidad. Al observar el perfil edáfico del sector de Quebrada del Guayacán, es posible corroborar la influencia que poseen los elementos estructurantes de un suelo, ya que uno de sus horizontes presentó un alto porcentaje de arena y baja cantidad de materia orgánica incurrieron en la no agregación del suelo que lo componía. La importancia de esto radica en que a mayor tamaño de los agregados tiende a aumentar la capacidad e infiltración del suelo, mejorando las condiciones para el crecimiento de los árboles (Donoso, 1981).

El sistema suelo forma parte importante del ecosistema, el cual presenta variaciones, tanto físicas como químicas, en función de factores como el clima y relieve de un lugar determinado, por lo cual, para cada sitio existe un desarrollo del suelo con características propias, por lo cual, presentará cierto grado de fragilidad ante perturbaciones provocadas por agentes externos, pudiendo modificar o empobrecer la calidad de un suelo. Actualmente, la expansión urbana, la ganadería y agricultura afectan de manera significativa la calidad del suelo, dificultando las acciones para establecer planes de conservación de la vegetación, no solo por los cambios que genera directamente en el suelo, sino que también por las actividades que se ejercen, las cuales muchas veces no son compatibles con las acciones destinadas a la conservación.

Diversos estudios han demostrado los efectos que tiene el pastoreo y la ganadería en las características físicas, químicas y morfológicas del suelo, siendo el pastoreo excesivo el factor más significante en la degradación de este recurso y de la vegetación (Greenwood *et al*., 2001; Schnyder *et al*., 2010; Zarekia *et al*., 2012;), logrando definir tres principales efectos del pastoreo, los cuales son la disminución de la diversidad, pérdida de suelo y hojarasca productos del constante pisoteo.

Para estos mismos sistemas se ha demostrado el efecto que tiene el pastoreo en el nivel de remoción de la biomasa y consecuentemente del impacto significativo en la rotación de nutrientes y absorción (Shariff *et al*., 1994), como así también el efecto que tiene la exclusión de la ganadería en sistemas naturales, demostrando que la exclusión promueve el aumento de la productividad, estructura vegetacional y diversidad de especies (Jeddi y Chaieb, 2010; Wei *et al*., 2011). Fuentes *et al.* (1989), estudiaron los efectos que tiene la presión antrópica sobre los bosques de la depresión intermedia de la zona central de Chile, específicamente la transformación de bosques de *Prosopis chilensis* a bosques de *Acacia caven*, concluyendo que la poca regeneración natural de *P. chilensis* y la regeneración vigorosa de *A. caven* podría estar dada, principalmente por la introducción de herbívoros, la agricultura y herbicidas. Así lo demuestran los resultados obtenidos en el presente estudio, en donde la mayoría de las zonas analizadas presentaron evidentes efectos del pastoreo del ganado caprino y bovino, como el ramoneo, y depósito de fecas y orina, mientras que el sector de Las Cardas, a pesar de estar localizada en la zona de mayor escasez hídrica, es la que presenta la mayor concentración de hojarasca por superficie y la mayor densidad arbórea (Figura 14), este hecho podría estar dado por que se encontraba en una zona de exclusión de ganado, eliminando la constante presión animal a las que se encuentra afectado guayacán, también se encuentra lejos de zonas urbanas y agrícolas, por lo cual, a pesar de presentar el ambiente natural más árido, poseía las condiciones naturales menos perturbadas.

Yates *et al.* (2000), de igual manera demostraron la asociación existente entre el pastoreo y una disminución en la cubierta vegetal perenne nativa, junto con un aumento en la cubierta vegetal de especies anuales exóticas, también asoció el pastoreo con la reducción de la litera, con una disminución de las especies criptógamas en el suelo, pérdida de microtopografía superficial, aumento en la erosión, cambios en las concentraciones de nutrientes, degradación de las estructura superficial, reducción de la tasa de infiltración del agua y el microclima en el suelo. De similar manera, Li *et al*. (2012), observaron que la exclusión del pastoreo trae consigo múltiples beneficios, tanto para la vegetación y la calidad del suelo, encontrando un aumento del número de especies vegetales, biomasa sobre el suelo, capacidad de retención del agua en el suelo, fósforo total, nitrógeno disponible, potasio y conductividad eléctrica, y una disminución del pH y densidad aparente en los primeros 20 cm del suelos, concluyendo que la exclusión del pastoreo es una manera positiva de restaurar los ecosistemas desertificados, estos resultados poseen una similitud a los obtenidos en la presente investigación, donde se observó que la cantidad de hojarasca se vio fuertemente influenciada por la presencia de un cerco perimetral

que impedía el ingreso de animales al sector, esta situación se observó en Las Cardas, en este lugar de estudio se encontró hasta 10 veces más cantidad de hojarasca por unidad de superficie que en otros sectores (Cajón de los Valles), siendo el lugar que presentó la mayor cobertura de copas, tanto al ser evaluadas por cobertura total y cobertura de guayacán, estos dos factores, cantidad de hojarasca y densidad arbórea, fueron fundamentales para definir que este sector fue el presentó el mayor aporte de hojarasca estimada por hectárea. También, la implementación de un cerco perimetral ayudó a que los individuos de guayacán no presentaran indicios de ramoneo ni otro tipo de daño mecánico causado por animales de mayor tamaño, presentando buenas condiciones fitosanitarias. Para el resto de las localidades, a pesar de encontrar individuos con buenas condiciones aparentes, de igual manera se observó el efecto de la presencia ganadera en algunos ejemplares de guayacán, con un notorio ramoneo y disminución de la cantidad de hojarasca bajo cobertura.

A pesar del deterioro, con la exclusión del ganado es posible revertir algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, mejorando su estado y calidad, es así como Steffens *et al.* (2008), concluyeron que la exclusión del ganado en una zona de estepa semiárida mejoraba las condiciones físicas y químicas del lugar, donde después de una exclusión de 5 año las diferencias no fueron notorias, pero sí después de 25 años, recuperándose significativamente.

Por lo tanto, la exclusión del ganado a través de la implementación de cercos trae consigo una serie de beneficios, tanto para la estructura y composición florística, como en las condiciones edáficas del sector con exclusión (Belsky & Blumenthal, 1997; Ramírez, *et al*., 1997; Wassie, *et al*., 2009), observando que con la exclusión del ganado mejora la germinación y crecimiento de plántulas, disminución en la compactación del suelo y aumento en la hojarasca, entro otros cambios

Estas situaciones demuestran lo necesario e importante que es implementar medidas a baja escala para mejorar las acciones destinadas a la conservación e investigación, ya que es necesario que exista una retroalimentación de los conocimientos adquiridos basados en las medidas establecidas, así también lo menciona Bannister (2015), en un estudio de bosques de *Pilgerodendron uviferum* en Chiloé, donde buscó desarrollar las bases científico-técnica necesarias para futuras estrategias de conservación o restauración, destacando lo necesario que es mejorar el conocimiento de las plantaciones en clúster como técnica silvícola a adoptar, y de lo costoso que es la restauración. Por lo mismo, se hace necesario investigar los procesos ecológicos que ocurren en bosques inalterados y analizando el grado de recuperación natural

de los bosques alterados, explorando también, opciones de restauración a micro-escala a través de pequeños experimentos de bajo costo.

En los lineamientos propuestos en el presente plan de conservación de guayacán se abordan estas áreas, mejorando la investigación, prácticas Silviculturales y manejo del entorno, que pretendan mejorar las características vegetacionales y edáficas para promover la aparición de nuevos individuos de guayacán (Figura 49). Existiendo una etapa asociada a generar lazos con instituciones de investigación que aporten con nuevos conocimientos, destinados al cumplimiento de nuestro objetivo, es por lo que esta etapa debe ser continua en el tiempo, de manera de ir retroalimentando los lineamientos de conservación en función de los resultados obtenidos.

Dentro del plan de conservación se establece la plantación en núcleos como una técnica inicial de reforestación con especies de guayacán, acción adoptaba debido a la naturaleza de regeneración natural que posee *P. chilensis*, donde se ha observado esta especie como nodriza de las mismas plántulas de guayacán y otras especies, Cuevas *et al*. (2013) demostraron en plantaciones experimentales en sectores perturbados, los beneficios que tienen las plantaciones bajo una especie nodriza, resultados que mejoran aún más si existe la exclusión del ganado, dando a conocer opciones de restauración ecológica en ambientes perturbados en zonas semi-áridas del centro-norte de Chile.

La investigación y aplicación de nuevas tecnologías es fundamental para establecer lineamientos destinados a la conservación, sin perjudicar el desarrollo económico de la zona, ya que muchas de las sectores donde crece *P. chilensis* se encuentran dentro de áreas pertenecientes a privados, siendo gran parte de ellos pequeños propietarios que realizan actividades de pastoreo en sus tierras, por lo que un trabajo conjunto es fundamental para mejorar el estado actual de guayacán y lograr en un futuro mejorar las condiciones naturales que presenta esta especie, consiguiendo incrementar la superficie de ocupación de *P. chilensis* en el país.

6. CONCLUSIÓN

P. chilensis es una especie capaz de crecer en sectores donde la intervención humana ha sido evidente, sin embargo, el deterioro y empobrecimiento de sus poblaciones ha ido en desmedro del crecimiento económico, siendo la ganadería y agricultura las actividades que mayormente afectaron las poblaciones de estudio.

En función de los análisis realizados a las poblaciones de estudio se observó que guayacán crece en suelos con textura gruesa, siendo la clase textural más encontrada la franca arenosa, en general, los suelos tienden a ser no salinos y con un pH medianamente a moderadamente ácidos. El contenido de materia orgánica fue mayor en los primeros horizontes del suelo, como así también, presentó una mayor concentración bajo cobertura de guayacán que fuera de ésta. De igual manera, se observó una mayor concentración de nitrógeno disponible en los primeros horizontes de estudio. Tanto para fósforo disponible como nitrógeno total no se observó relación alguna en cuanto a su distribución a lo largo del perfil ni en cuanto a la cobertura de guayacán.

Las características climáticas observadas en las poblaciones de estudio fue el amplio rango de precipitación, que va desde los 0,1 hasta los 832 mm anuales, pudiendo crecer en sectores que presentan un prolongado periodo de sequía y temperaturas promedio entre los 4,8 y 16ºC.

Se estudiaron poblaciones que presentaban una alta variabilidad en la geomorfología del sector, pudiendo encontrar poblaciones que crecían en laderas de cerro, piedmont y planicie, y pendientes entre los 0 y 30% y altitud que varían entre los 340 a 1.230 msnm. Sólo se observó erosión laminar en las poblaciones de estudio.

La elaboración de lineamientos destinados a la conservación de guayacán busca abordar los diferentes espacios en que podría formar parte su desarrollo (ámbito social, económico, político y ambiental), elaborando estrategias que busquen el mejoramiento tanto de esta especie como del ecosistema en que se encuentra inserto. Mostrando las principales causas de su actual deterioro y la necesidad del trabajo en conjunto con los diferentes actores que se encuentran relacionados al escenario actual de guayacán.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ABENSPERG-TRAUN, M., SMITH, G. T., ARNOLD, G. W., & STEVEN, D. E. 1996. The effects of habitat fragmentation and livestock-grazing on animal communities in remnants of gimlet Eucalyptus salubris woodland in the Western Australian wheatbelt. I. Arthropods. *Journal of Applied Ecology*, 1281-1301.
- AGUAYO, M., PAUCHARD, A., AZÓCAR, G., Y PARRA, O. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, *82*(3), 361-374.
- ARANCIO, G., MUÑOZ, M. SQUEO, F.A. 2001. Descripción de algunas especies con problemas de conservación de la IV Región de Coquimbo. Chile. En: SQUEO, F.A., ARANCIO, G Y GUTIÉRREZ, J.R. (eds.). Libro Rojo de la Flora Nativa de la Región de Coquimbo y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. Ediciones de la Universidad de la Serena. La Serena. Chile. Pp. 63-103.
- ARMESTO, J. J., Y PICKET, S. T. 1985. A mechanistic approach to the study of succession in the Chilean matorral. *Revista Chilena de Historia Natural. v*,*58*(1), 9-17.
- AYOUBI, S., KHORMALI, F., SAHRAWAT, K. L., & DE LIMA, A. R. 2011. Assessing impacts of land use change on soil quality indicators in a loessial soil in Golestan Province, Iran.
- BAHRAMI, A., EMADODIN, I., RANJBAR ATASHI, M., & RUDOLF BORK, H. 2010. Land-use change and soil degradation: A case study, North of Iran. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4), 600-605.
- BAILEY, R. G. 2009. *Ecosystem geography: from ecoregions to sites*. Springer Science & Business Media. New York. (2da. Edición). 251p.
- BANNISTER, J. R. 2015. Recuperar bosques no es solo plantar árboles: lecciones aprendidas luego de 7 años restaurando bosques de *Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin en Chiloé. In *Anales del Instituto de la Patagonia* (Vol. 43, No. 1, pp. 35-51). Universidad de Magallanes.
- BANNISTER, J. R., DONOSO, P., MUJICA, R. 2016. La silvicultura como herramienta para la restauración de bosques templados. Bosque 37(2), 229-235.
- BELSKY, A. J., & BLUMENTHAL, D. M. 1997. Effects of livestock grazing on stand dynamics and soils in upland forests of the Interior West. Conservation Biology, 11(2), 315-327.
- BRADY, N. C., & BUCKMAN, H. O. 1974. The nature and properties of soils
- BOUYOUCOS, G.J. 1936. Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the hydrometer Method. Soil Science 4:225-228.

- BROOK, B.W., SODHI, N.S. Y NG, PK.L. 2003. Catastrophic extinctions follow deforestation in Singapore. Nature, 424, 420-423.
- CASANOVA, M., SALAZAR, O., SEGUEL, O., & LUZIO, W. 2013.The soils of Chile. Springer Science & Business Media.
- CASTRO, J., ZAMORA, R., HÓDAR, J. A., Y GÓMEZ, J. M. 2002. Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restoration Ecology*, *10*(2), 297-305.
- CHARLEY, J. L., & COWLING, S. W. 1968. Changes in soil nutrient status resulting from overgrazing and their consequences in plant communities of semi-arid areas.
- CHILE. Ministerio del medio ambiente. 2008. Decreto Supremo Nº 51 Aprueba y Oficializa Nómina para el Tercer Proceso de Clasificación de Especies según su Estado de Conservación, 30 junio 2008.
- CLARK, D. B. 2002. Los factores edáficos y la distribución de las plantas. *Ecología y conservación de bosques neotropicales. LUR, Cartago, Costa Rica*, 193-221.
- COFRÉ P. 2001. Producción de cabras lecheras. Boletín INEA No 66. Chillán. Chile. Pp. 200.
- CONAF 2005. Planes Nacionales de Conservación de Queule, *Gomortega keule* (Mol.) Baillon, y Pitao, *Pitavia punctata* (Ruiz et Pavón) Mol., en Chile.
- CORBIN, J. D. y HOLL, K. D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. Forest Ecology and Management 265: 37-46.
- CUEVAS, J. G., SILVA, S. I., LEON-LOBOS, P., & GINOCCHIO, R. 2013. Nurse effect and herbivory exclusion facilitate plant colonization in abandoned mine tailings storage facilities in north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, *86*(1), 63-74.
- CURRIE, D. J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal-and plant-species richness. *American Naturalist*, 27-49.
- DI CASTRI, F., Y HAJEK, E. R. 1976. Bioclimatología de Chile. Santiago, Chile: Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile. 127p.
- DONOSO, C. 1981. *Ecología Forestal, el Bosque y su Medioambiente*. Sexta Edición. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 369 pp.
- DONOSO, C., Y LARA, A. 1996. Utilización de los bosques nativos en Chile: pasado, presente y futuro. Ecología de los Bosques Nativos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, 71-99.
- DUMANSKI, J. 2015. Evolving concepts and opportunities in soil conservation.International Soil and Water Conservation Research, 3(1), 1-14.
- ETIENNE, M. LA, FAUNDEZ Y J, VALDEZ. 1987, La desertificación de la zona árida de Chile. Terra Arida (Chile) 6:1-44.

- FIREMAN, M., Y HAYWARD, H. E. 1952. Indicator significance of some shrubs in the Escalante Desert, Utah. Botanical Gazette, 114(2), 143-155.
- FLORES, J., Y JURADO, E. 2003. Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments?. *Journal of Vegetation Science*, *14*(6), 911-916.
- FRANCO, A. C., Y NOBEL, P. S. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *The Journal of Ecology*, 870-886.
- FUENTES, E. R., AVILÉS, R., & SEGURA, A. 1989. Landscape change under indirect effects of human use: the Savanna of Central Chile. *Landscape Ecology*, *2*(2), 73-80.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación natural de Chile: clasificación y distribución geográfica. Santiago: Editorial Universitaria. 121p.
- GARCIA-MOYA, E., Y MCKELL, C. M. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 81-88.
- GREENWOOD, K. L., & MCKENZIE, B. M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture, 41(8), 1231-1250
- GROSSMAN, R.B. & REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H. & TOPP, C., eds. Methods of soil analysis: Physical methods. Madison, Soil Science Society of América, 2002. v.4. p.201-228.
- GUTIÉRREZ, J. R., MESERVE, P. L., CONTREAS, L. C., VÁSQUEZ, H., Y JAKSIC, F. M. 1993. Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. *Oecologia*, *95*(3), 347-352.
- GUTIÉRREZ, J. R., Y SQUEO, F. A. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista Ecosistemas*, *13*(1), 36-45.
- HECHENLEITNER V., P., M. F. GARDNER, P. I. THOMAS, C. ECHEVERRÍA, B. ESCOBAR, P. BROWNLESS Y C. MARTÍNEZ A. 2005. Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 p.
- HORTON, J. L., Y HART, S. C. 1998. Hydraulic lift: a potentially important ecosystem process. *Trends in Ecology & Evolution*, *13*(6), 232-235.
- INE, 2002. Censo Nacional 2002. http://www.ine.cl/redatam/i-redatam.htm <En Línea>
- JACKSON, R. B., Y CALDWELL, M. M. 1993. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. *Journal of Ecology*, 683-692.

- JEDDI, K., & CHAIEB, M. 2010. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *205*(3), 184-189.
- JOBBÁGY, E. G., Y JACKSON, R. B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, *10*(2), 423-436.
- LAL, R. 2014. Soil conservation and ecosystem services. International Soil and Water Conservation Research, 2(3), 36-47.
- LATHAM, R., Y RICKLEFS, R. E. 1993. Global patterns of tree species richness in moist forests: energy-diversity theory does not account for variation in species richness. *Oikos*, 325-333.
- LEÓN-MUÑOZ, J., ECHEVERRÍA, C., FUENTES, R., & ABURTO, F. 2017. How is the land use-cover changing in drinking water catchments in the coastal range of south-central Chile (35°-38.5° S)?. Bosque, 38(1).
- LI, Y., ZHAO, X., CHEN, Y., LUO, Y., & WANG, S. 2012. Effects of grazing exclusion on carbon sequestration and the associated vegetation and soil characteristics at a semi-arid desertified sandy site in Inner Mongolia, northern China. *Canadian Journal of Soil Science*, *92*(6), 807-819.
- LUEBERT, F., Y PLISCOFF, P. 2017. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. (2da. Edición). 316 pp.
- LUZIO, W., CASANOVA, M., & SEGUEL, O. 2010. Soils of Chile.University of Chile. Maval Press, Santiago (in Spanish).
- MENESES, R., & MORENO, R. 1993. Rehabilitation of degraded ecosystems in central Chile and its relevance to the arid Norte Chico. Revista Chilena de Historia Natural, 66, 291-303.
- MORRISON EB, LINDELL CA, HOLL KD & ZAHAWI RA. 2010 Patch size effects on avian foraging behaviour: implications for tropical forest restoration design. Journal of Applied Ecology, 47, 130–138.
- MUÑOZ, M. R., SQUEO, F. A., LEON, M. F., TRACOL, Y., & GUTIERREZ, J. R. 2008. Hydraulic lift in three shrub species from the Chilean coastal desert. *Journal of arid environments*, *72*(5), 624-632.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G., KENTS, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation propierties. Nature 403, 853-858.
- PAUCHARD, A., AGUAYO, M., PEÑA, E., & URRUTIA, R. 2006. Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). Biological conservation, 127(3), 272-281.
- PAUCHARD, A., VILLAROEL, P. 2002. Protected areas in Chile: history, current status and challenges. Natural Areas Journal 22, 318-330.

- PAULSEN, H. A. 1953. A comparison of surface soil properties under mesquite and perennial grass. Ecology, 34(4), 727-732.
- PHILLIPS, L. B., HANSEN, A. J., FLATHER, C. H., Y ROBISON-COX, J. 2010. Applying species-energy theory to conservation: a case study for North American birds. *Ecological Applications*, *20*(7), 2007-2023.
- RALLO, M., GNZÁLEZ, J.P., ULLOA, I., Y ORELL, M. 2007. Características macro y microscópicas del Guayacán. Maderas, Ciencia y tecnología. 9:71-78.
- RODRÍGUEZ, R., O. MATTHEI Y M. QUEZADA. 1983. Flora Arbórea de Chile. Edit. Univ. Concepción. 408 pp
- ROMERO, H., Y ÓRDENES, F. 2004. Emerging urbanization in the Southern Andes: Environmental impacts of urban sprawl in Santiago de Chile on the Andean piedmont. Mountain Research and Development, 24(3), 197-201.
- SADZAWKA, A., CARRASCO, M., GREZ, R., MORA, M., Y FLORES, H. Y A. NEAMAN. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. *Serie Actas*, (30), 164p.
- SAHA, S., KUEHNE, C. y BAUHUS, J. 2013. Tree Species Richness and Stand Productivity in Low-Density Cluster Plantings with Oaks (Quercus robur L. and Q. petraea (Mattuschka) Liebl.). Forests 4(3): 650-665
- SALAFSKY, N., SALZER, D., STATTERSFIELD, A. J., HILTON-TAYLOR, C., NEUGARTEN, R., BUTCHART, S. H., COLLEN, B., COX, N., MASTER, L. L., O´CONNOR, S. Y WILKIE, D. 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions.Conservation Biology, 22(4), 897-911.
- SANHUEZA, R., Y AZÓCAR, G. 2000. Transformaciones ambientales provocadas por los cambios económicos de la segunda mitad del siglo XIX; provincia de Concepción. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, *45*, 181-194.
- SCHNYDER, H., LOCHER, F.& AUERSWALD, K. 2010. Nutrient redistribution by grazing cattle drives patterns of topsoil N and P stocks in a low-input pasture ecosystem. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 88(2), 183-195.
- SCHOENEBERGER, P.J., D.A. WYSOCKI, E.C. BENHAM, AND SOIL SURVEY STAFF. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- SCHOENHOLTZ, S., VAN MIEGROET, H., Y BURGER, J. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest ecology and management, 138(1), 335-356.

- SER (Society for Ecological Restoration International). 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- SHACHAK, M., SACHS, M., Y MOSHE, I. 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, *1*(5), 475-483.
- SHARIFF, A. R. BIONDINI AND C.E. GRYGIEL, 1994. Grazing intensity effects on litter descomposition and soil nitrogen mineralization. Journal of range management, 47: 444-449.
- SHÖNENBERGER, W. 2001. Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures-a review. Forest Ecology and Management 145: 121-128.
- SINGH, K., SINGH, B., & SINGH, R. R. 2013. Effect of land rehabilitation on physicochemical and microbial properties of a sodic soil. *Catena*, *109*, 49-57.
- SOIL SURVEY STAFF. 1993. Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. United States Departament of Agriculture. Washington, D. C. Handbook Nº18. 427 p.
- SPRUGEL, D. G. 1991. Disturbance, equilibrium, and environmental variability: what is natural vegetation in a changing environment?. *Biological conservation*,*58*(1), 1-18.
- SQUEO, F., ARANCIO, G. Y GUTIÉRREZ, J. 2001. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. p. 105-142.
- STEFFENS, M., KÖLBL, A., TOTSCHE, K. U., & KÖGEL-KNABNER, I. 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China). Geoderma, 143(1), 63-72.
- SUDING, K. N. 2011. Toward an era of restoration in ecology: successes, failures, and opportunities ahead. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 42(1), 465.
- THOMAS, C.D., CAMERON, A., GREEN, R.E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L.J., COLLINGHAM, Y.C., ERASMUS, B.F.N., SIQUEIRA, M.ED., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., JAARSVELD, A.S.V., MIDGLEY, G.E, MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M.A., PETERSON, A.T., PHILLIPS, O.L. Y WILLIAMS, S.E. 2004. Extinction risk from climate change. Nature, 427, 145-148.
- TIEDEMANN, A. R., & KLEMMEDSON, J. O. 1973. Nutrient Availability in Desert Grassland Soils Under Mesquite (Prosopis juliflora) Trees and Adjacent Open Areas 1. Soil Science Society of America Journal, 37(1), 107-111.
- TRACOL, Y., GUTIÉRREZ, J. R., & SQUEO, F. A. 2011. Plant area index and microclimate underneath shrub species from a Chilean semiarid community.Journal of Arid Environments,75(1), 1-6.

- VALIENTE-BANUET, A., Y EZCURRA, E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *The Journal of Ecology*, 961-971.
- VITA, L, A., VALENZUELA, M., Y VARELA J, S. 2007. Ensayos de Recuperación de Formaciones Naturales de Guayacán (*Porlieria chilensis john*.) en la zona árida de Chile. Instituto Forestal. Santiago. Chile. (13)1. 137p.
- WALTERS, C. 1986. *Adaptive management of renewable resources*. Macmillan, New York, NY.
- WASSIE, A., STERCK, F. J., TEKETAY, D., & BONGERS, F. 2009. Effects of livestock exclusion on tree regeneration in church forests of Ethiopia. Forest Ecology and Management, 257(3), 765-772.
- WEI, L., HAI-ZHOU, H., ZHI-NAN, Z., & GAO-LIN, W. 2011. Effects of grazing on the soil properties and C and N storage in relation to biomass allocation in an alpine meadow. *Journal of soil science and plant nutrition*, *11*(4), 27-39.
- WELTZIN, J. F., & COUGHENOUR, M. B. 1990. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. Journal of vegetation science, 1(3), 325-334.
- WEST, N.E. Y KLEMENDSON, J.O. 1978. Structural distribution of nitrogen in desert ecosystems. En: Gutiérrez, J. R., Y Squeo, F. A. 2004. Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista Ecosistemas*, *13*(1).
- WILSON, A. D. 1990. The effect of grazing on Australian ecosystems. In *Proceedings of the Ecological Society of Australia* (Vol. 16, pp. 235-244).
- WRIGHT, D. H. 1983. Species-energy theory: an extension of species-area theory. Oikos, 496-506.
- WYLIE, J. L., & CURRIE, D. J. 1993. Species-energy theory and patterns of species richness: I. Patterns of bird, angiosperm, and mammal species richness on islands. Biological Conservation, 63(2), 137-144.
- YARRANTON, G.A. y MORRISON, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: Nucleation. Journal of Ecology 62: 417–428
- YATES, C. J., & HOBBS, R. J. 1997. Temperate eucalypt woodlands: a review of their status, processes threatening their persistence and techniques for restoration. *Australian Journal of Botany*, *45*(6), 949-973.
- YATES, C. J., NORTON, D. A., & HOBBS, R. J. 2000. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in south-western Australia: implications for restoration. *Austral Ecology*, *25*(1), 36-47.

- YÜKSEK, T., & YÜKSEK, F. 2011. The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey. *Catena*, *84*(1), 47-53.
- ZAMORANO-ELGUETA C, L CAYUELA, JM REY-BENAYAS, PJ DONOSO, D GENELETTI, RJ HOBBS. 2014. The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration comunity: A landscape approach. Ecosphere 5(7), 1-17.
- ZAREKIA, S., JAFARI, M., ARZANI, H., JAVADI, S. A., & JAFARI, A. A. 2012. Grazing effects on some of the physical and chemical properties of soil. *World Applied Sciences Journal*, *20*(2), 205-212.
- ZHOU, Z. C., GAN, Z. T., SHANGGUAN, Z. P., & DONG, Z. B. 2010. Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China). Catena, 82(2), 87-91.
- ZONNEVELD, M. J., GUTIÉRREZ, J. R., Y HOLMGREN, M. 2012. Shrub facilitation increases plant diversity along an arid scrubland–temperate rain forest boundary in South America. *Journal of Vegetation Science*, *23*(3), 541-551.
- ZULOAGA F, M BELGRANO Y O MORRONE (EDS) 2008. Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Volumen 3. *Dicotyledonae*: *Fabaceae* (*Senna* – *Zygia*) - *Zygophyllaceae*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107: 2287 – 3348.
- ZUO, X., ZHAO, H., ZHAO, X., ZHANG, T., GUO, Y., WANG, S., & DRAKE, S. 2008. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. Soil and Tillage Research, 99(2), 202-212

8. ANEXO

8.1 Curvas de retención de humedad por sector de estudio

Figura. 1. Curvas de retención de humedad, sector Las Cardas

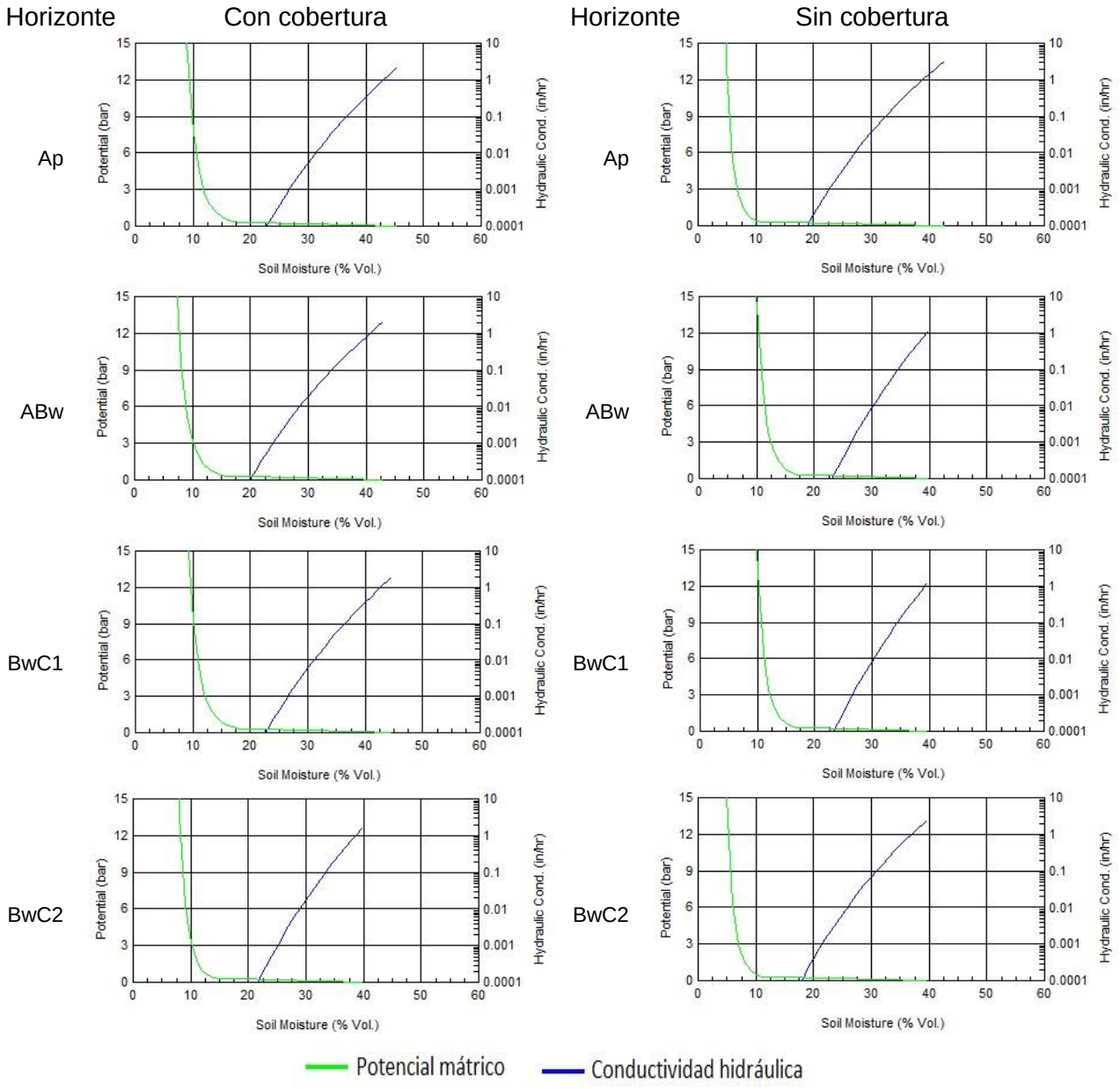


Figura. 2. Curvas de retención de humedad, sector Quebrada del Guayacán

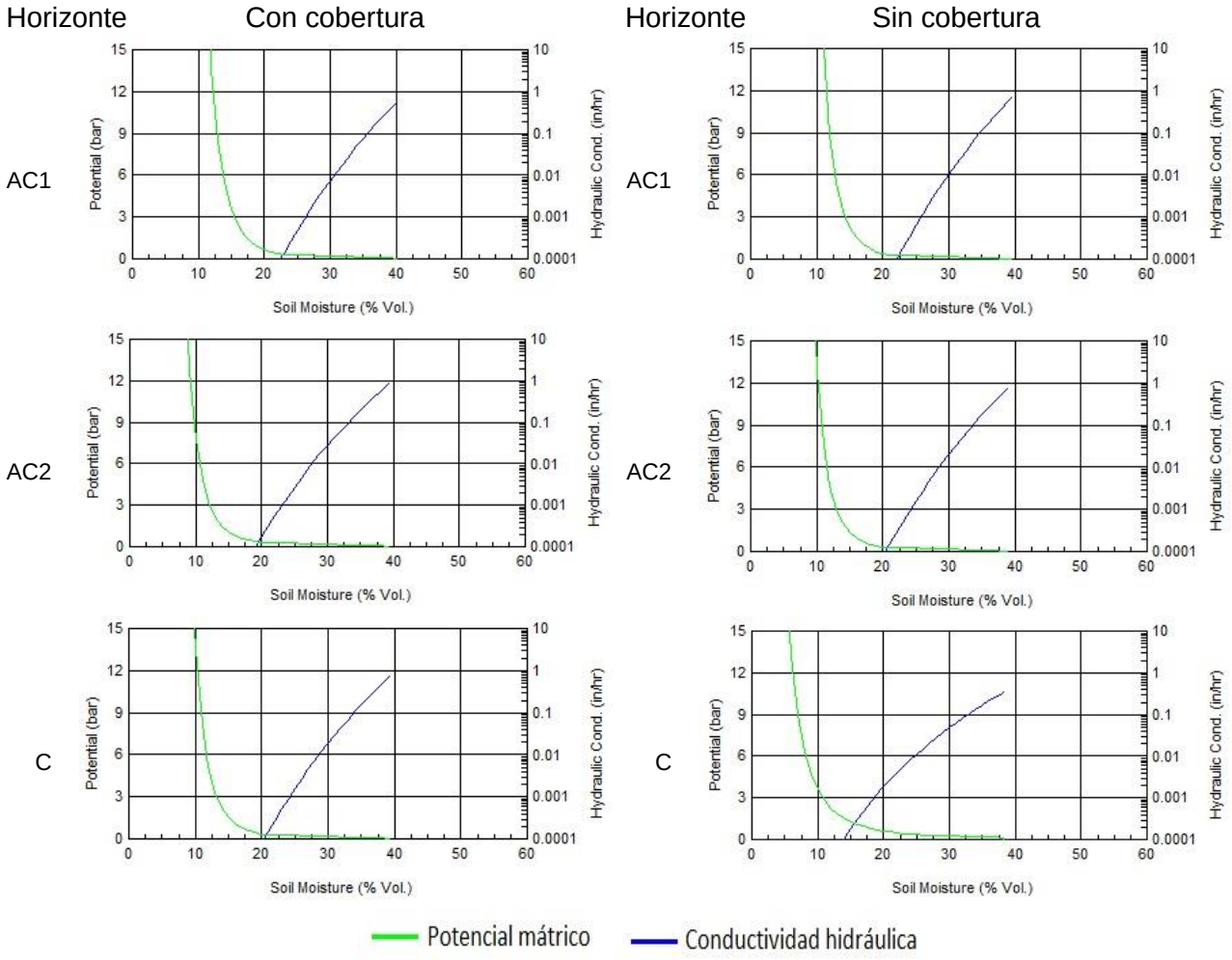


Figura. 3. Curvas de retención de humedad, sector Cajón de los Valles

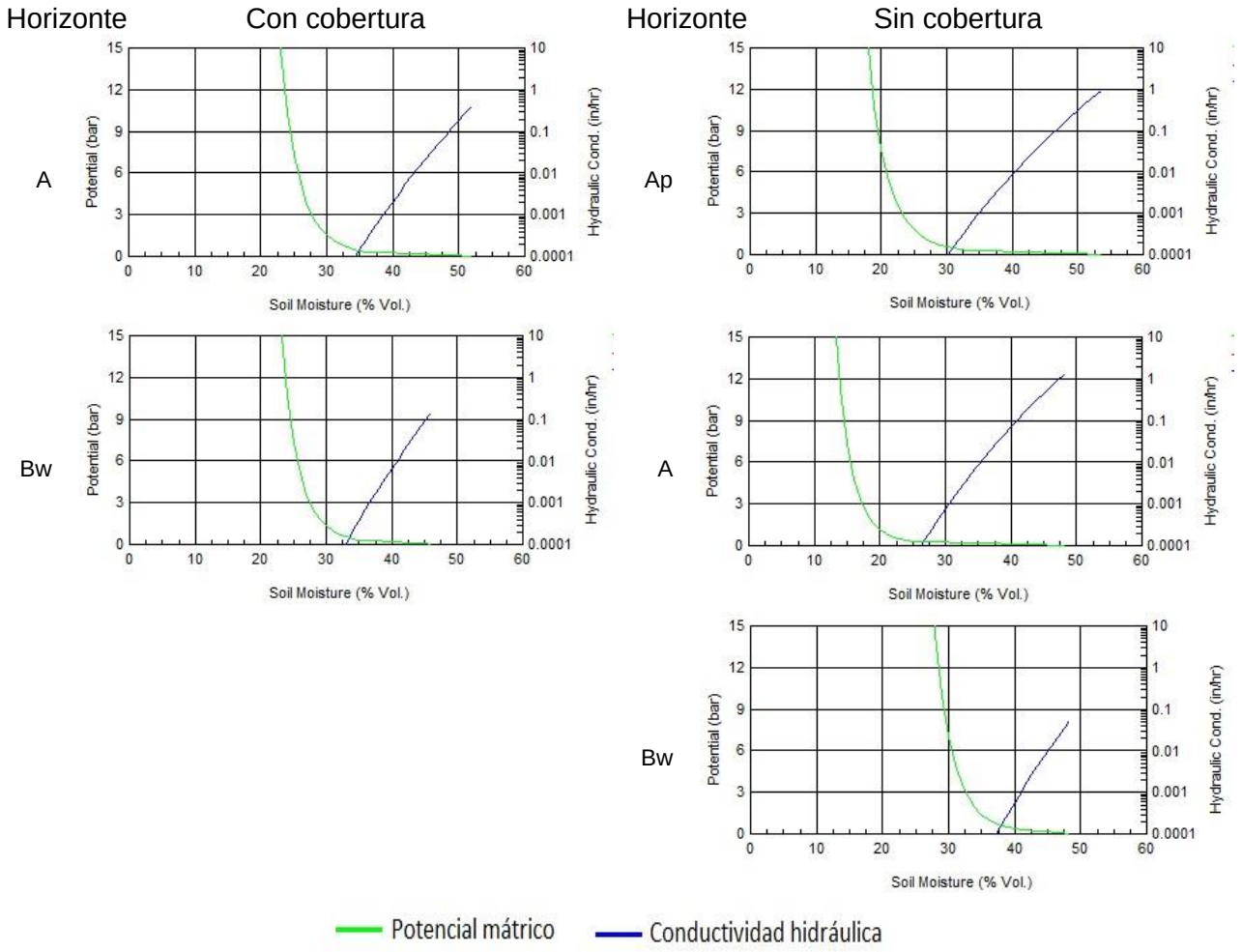


Figura. 4. Curvas de retención de humedad, sector Camino a Farellones

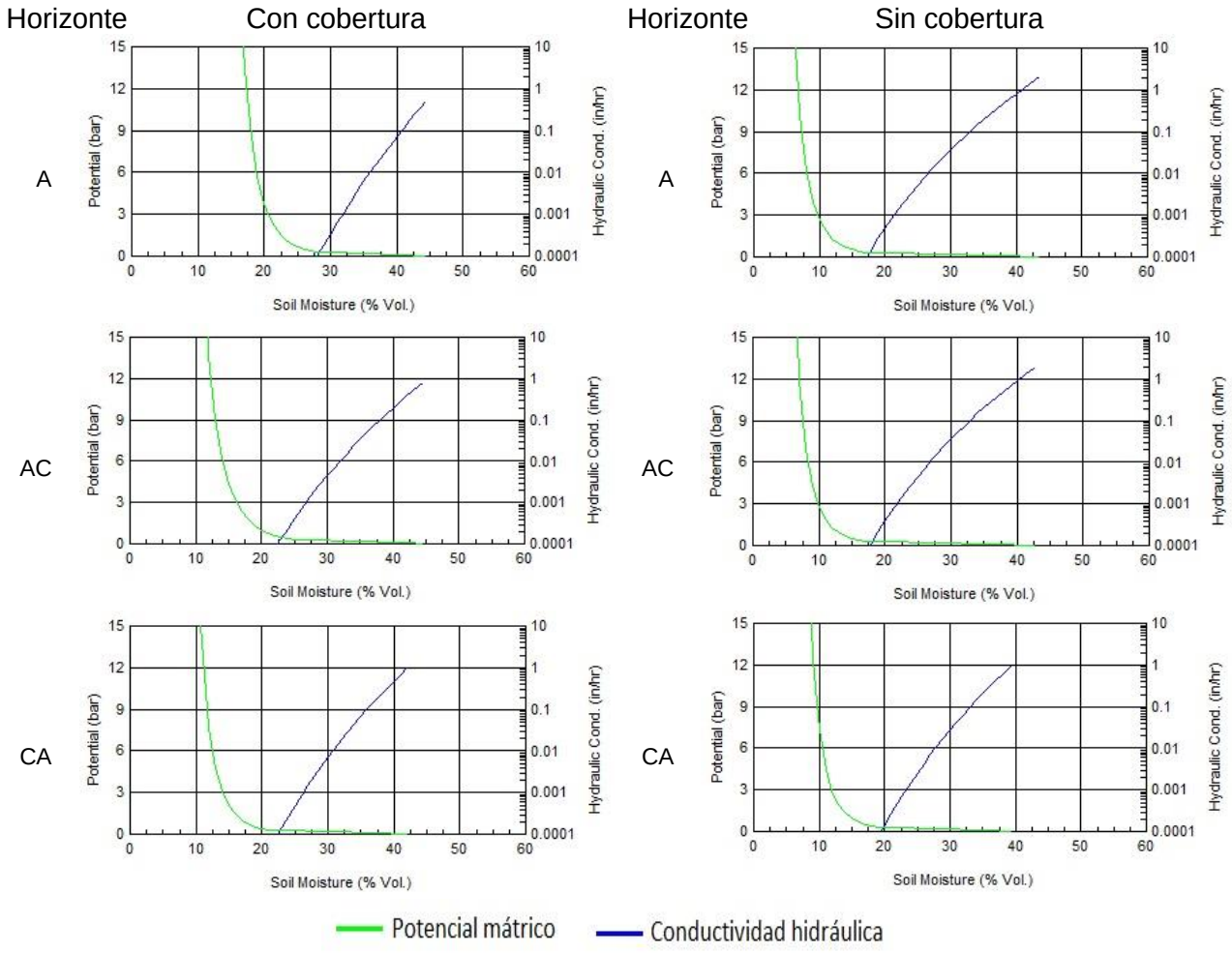


Figura. 5. Curvas de retención de humedad, sector Rio Clarillo

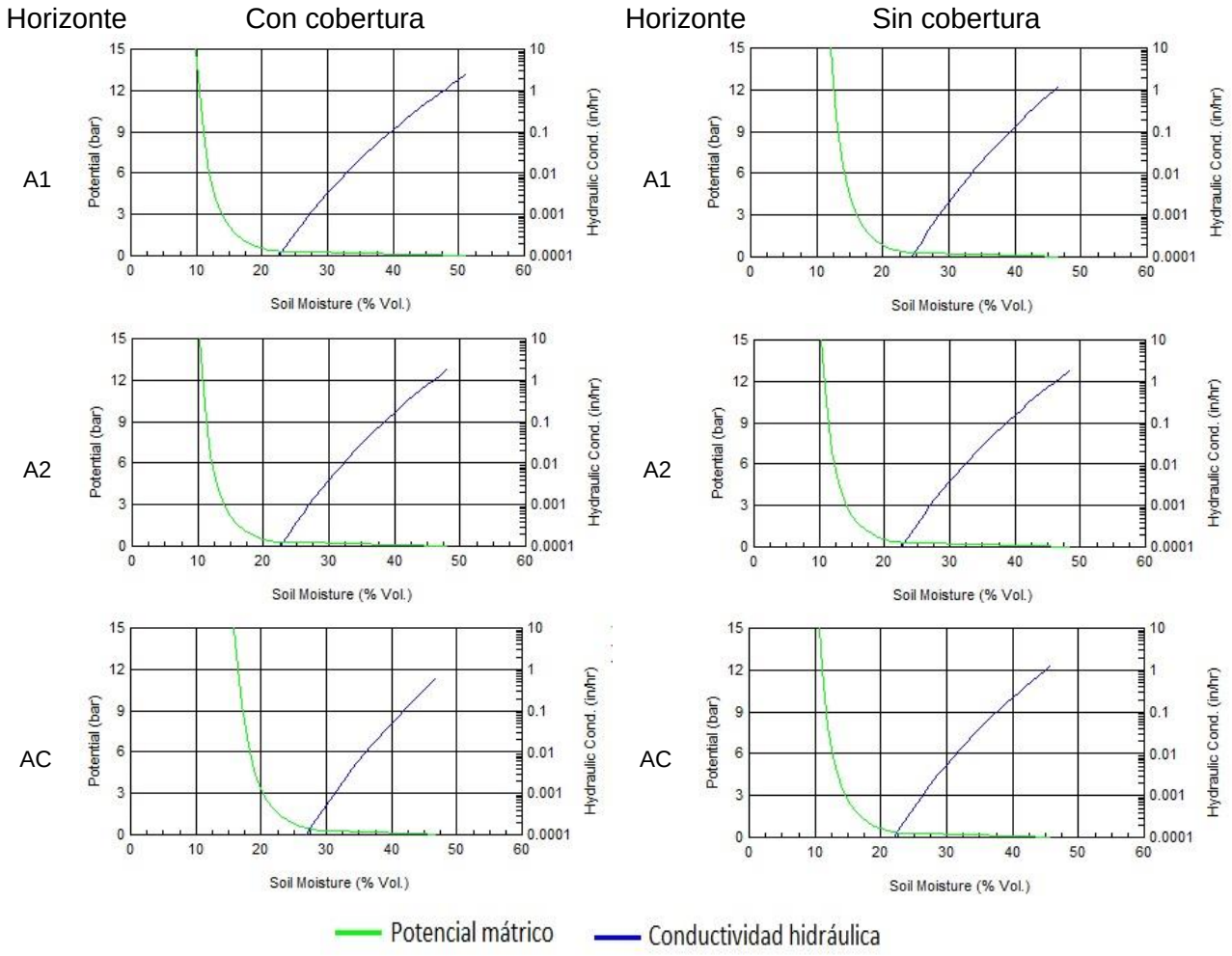
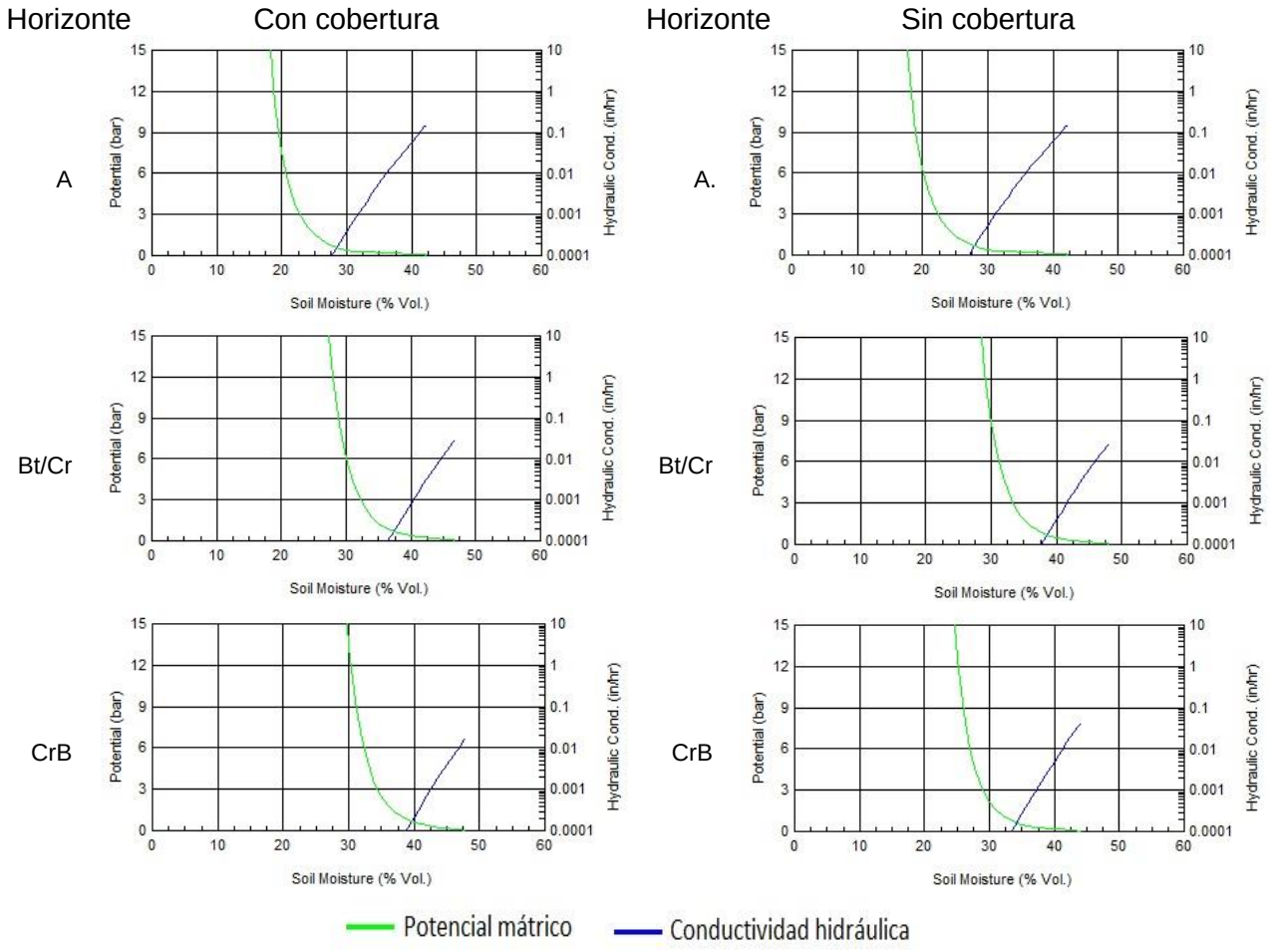


Figura. 6. Curvas de retención de humedad, sector Cerro Corredor de Piedra



8.2 ANOVAS por sector de estudio

Las Cardas

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	3.307	3.307	1.368	0.269
Residuals	10	24.175	2.418		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1905	1905.1	2.143	0.174
Residuals	10	8892	889.2		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.1519	0.1519	0.519	0.488
Residuals	10	2.9242	0.2924		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.0211	0.0211	3.536	0.089
Residuals	10	0.0598	0.00598		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	45	45.01	1.297	0.281
Residuals	10	346.9	34.69		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.01495	0.01495	5.874	0.0358*
Residuals	10	0.0254	0.00254		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.775	0.775	1.906	0.197
Residuals	10	4.067	0.406		

Quebrada del Guayacán

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1.401	1.4	13.39	0.009**
Residuals	10	1.348	0.134		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	163	162.8	0.3	0.596
Residuals	10	5434	543.4		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.858	0.858	4.173	0.068
Residuals	10	2.057	0.205		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.103	0.103	1.62	0.232
Residuals	10	0.637	0.063		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	9.43	9.434	0.655	0.437
Residuals	10	144.13	14.413		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.31	0.31	4.59	0.057
Residuals	10	0.676	0.067		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1.8	1.8	2.65	0.134
Residuals	10	6.77	0.677		

Cajón de los Valles

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	129.3	129.3	18.3	0.0016**
Residuals	10	70.6	7		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	2766	2766	2.396	0.153
Residuals	10	11547	1155		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.028	0.028	0.072	0.794
Residuals	10	3.895	0.389		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.011	0.011	0.592	0.46
Residuals	10	0.186	0.018		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	62.1	62.1	0.859	0.376
Residuals	10	722.8	72.28		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.039	0.039	4.73	0.054
Residuals	10	0.084	0.008		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.01	0.01	1.84	0.205
Residuals	10	0.055	0.0055		

Camino a Farellones

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	14.5	14.5	5.949	0.035*
Residuals	10	24.4	2.44		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1	1.4	0.003	0.956
Residuals	10	4326	432.6		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.027	0.027	0.06	0.812
Residuals	10	4.516	0.45		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.0023	0.002	0.17	0.689
Residuals	10	0.138	0.013		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	30.2	30.2	2.545	0.142
Residuals	10	118.7	11.87		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.0005	0.0005	0.82	0.387
Residuals	10	0.0066	0.0006		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	4.7	4.7	4.625	0.057
Residuals	10	10.16	1.016		

Rio Clarillo

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	60.7	60.7	13.93	0.0039**
Residuals	10	43.6	4.36		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	698	697.7	0.656	0.437
Residuals	10	10642	1064		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	2.457	2.45	18.8	0.0014**
Residuals	10	1.306	0.13		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.0025	0.0025	0.164	0.694
Residuals	10	0.156	0.015		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	86.4	86.4	4.457	0.06
Residuals	10	193.9	19.39		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.201	0.201	1.592	0.236
Residuals	10	1.264	0.126		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.21	0.21	2.955	0.116
Residuals	10	0.71	0.071		

Cerro Corredor de Piedra

Materia orgánica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1.54	1.54	8.915	0.0137*
Residuals	10	1.72	0.17		

Fósforo disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1472	1472	1.364	0.27
Residuals	10	10790	1079		

pH

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	1.248	1.248	2.226	0.167
Residuals	10	5.608	1.56		

Nitrógeno total

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.0085	0.0085	0.337	0.575
Residuals	10	0.2535	0.0253		

Nitrógeno disponible

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	175.7	175.7	4.87	0.052
Residuals	10	360.7	36.07		

Conductividad eléctrica

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.119	0.119	8.67	0.014*
Residuals	10	0.137	0.013		

Conductividad hidráulica saturada

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Cobertura	1	0.969	0.969	1.526	0.245
Residuals	10	6.35	0.635		

9. ANEXO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Visión general entorno de sector de Las cardas

Fotografía 2. Visión general entorno de sector de Quebrada del Guayacán

Fotografía 3. Visión general entorno de sector de Cajón de los Valles

Fotografía 4. Visión general entorno de sector de Camino a Farellones

Fotografía 5. Visión general entorno de sector de Rio Clarillo

Fotografía 6. Visión general entorno de sector de Cerro Corredor de Piedra