

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**VARIACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN ECOSISTEMAS  
ESCLERÓFILOS CON DIFERENTES GRADOS DE PERTURBACIÓN  
ANTRÓPICA EN LA RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL COBRE DE  
LONCHA, REGIÓN METROPOLITANA**

**MÓNICA ALEJANDRA GALARCE TORO**

**Santiago, Chile**

**2013**

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**VARIACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN ECOSISTEMAS  
ESCLERÓFILOS CON DIFERENTES GRADOS DE PERTURBACIÓN  
ANTRÓPICA EN LA RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL COBRE DE  
LONCHA, REGIÓN METROPOLITANA**

**VARIATION OF SOIL ORGANIC MATTER IN SCLEROPHYLLOUS  
ECOSYSTEMS WITH DIFFERENT ANTROPOGENIC DISTURBANCES AT  
RESERVA NACIONAL ROBLERIA DEL COBRE DE LONCHA, REGIÓN  
METROPOLITANA**

**MÓNICA ALEJANDRA GALARCE TORO**

**Santiago, Chile**

**2013**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**  
**MEMORIA DE TÍTULO**

**VARIACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN ECOSISTEMAS  
ESCLERÓFILOS CON DIFERENTES GRADOS DE PERTURBACIÓN  
ANTRÓPICA EN LA RESERVA NACIONAL ROBLERÍA DEL COBRE DE  
LONCHA, REGIÓN METROPOLITANA**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**MÓNICA ALEJANDRA GALARCE TORO**

<b>Profesores Guías</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Juan Pablo Fuentes E. Ingeniero Forestal, M.S. Ph.D.	6,0
Sr. Jorge Pérez Q. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph.D.	6,2
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Gerardo Soto M. Forestal, M.S. Dr.	6,0
Sr. Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr.	6,0
<b>Colaborador</b>	
Sr. Horacio Bown I. Ingeniero Forestal, M.S. Ph.D.	

**Santiago, Chile**

**2013**

## **DEDICATORIA**

A mi familia especialmente a mi hermano Iván y a Eduardo Andrés Vergara Toro.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por su apoyo constante en el transcurso de esta etapa.

A los profesores Juan Pablo Fuentes y Jorge Pérez por su paciencia, y conocimientos aportados.

A mis compañeros de laboratorio Víctor, Amanda, Rocío, Ignacio y Jorge por su compañía.

A la señora Cristina Sáez por su ayuda permanente en el laboratorio.

Por último al proyecto FONDECYT N° 1090283 por dar cabida a la realización de esta memoria de título.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
Área de Estudio.....	9
Formaciones vegetacionales existentes en la Reserva Roblería del Cobre de Loncha.....	10
Muestreo de suelo.....	12
Determinación de materia orgánica particulada.....	13
Determinación de carbono asociado a ácidos húmicos y fúlvicos.....	13
Análisis Estadístico.....	14
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>15</b>
Materia orgánica particulada.....	15
Carbono asociado a ácidos húmicos y fúlvicos.....	19
Relación de C de ácidos húmicos y fúlvicos.....	20
Asociaciones de regresión entre las fracciones físicas y químicas de la materia orgánica...	23
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>25</b>
<b>APÉNDICE I</b> Estadísticos materia orgánica particulada, ácido húmico y ácido fúlvico....	<b>30</b>
<b>APÉNDICE II</b> Situaciones vegetacionales, valores promedios de arena, limo, arcilla, clase textural.....	<b>32</b>
<b>APÉNDICE III</b> Valores promedio de relación de humificación.....	<b>32</b>

<b>ANEXO I</b> Características físicas y morfológicas de los pedones en las distintas formaciones vegetacionales.....	<b>33</b>
<b>ANEXO II</b> Valores de celulosa y lignina por especie.....	<b>38</b>
<b>ANEXO III</b> Composición química y promedio de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos..	<b>39</b>

## RESUMEN

En la región del Bosque Esclerófilo, se analizó la variación de materia orgánica del suelo mediante fraccionamiento físico y químico, en cuatro situaciones vegetacionales esclerófilas con diferentes gradientes de perturbación antrópica, desde una situación menos perturbada (Peumo) (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser), hasta otras con mayor grado de perturbación PLQ (Peumo-Litre-Quillay) (*Lithraea caustica* (Mol.) Hook et Arn. (*Quillaja saponaria* (Mol.)), QTCc (Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura colliguay) (*Retanilla trinervia* (Gillies et Hook.) Hook. et. Arn. (*Colliguaja odorífera* Mol.), E (Espino bajo copas) (*Acacia caven* (Mol.) Mol.

Se determinó la variación de materia orgánica particulada (*MOP*) del suelo en las fracciones fina (limo+arcilla) y gruesa (arena) a dos profundidades: 0-6 y 6-12 cm. También se determinó el carbono asociado a ácidos húmicos (*CAH*) y carbono asociado a ácidos fúlvicos (*CAF*) en ambas profundidades. Estas propiedades fueron evaluadas mediante la obtención de muestras compuestas de suelo. La *MOP* se determinó mediante pérdida de peso por calcinación a 650 °C. El *CAH* y *CAF* se determinaron mediante el método de Kononova y colorimetría según Rheim Ulrich. El mayor porcentaje de materia orgánica (13,75%) se encontró bajo P en la fracción fina del suelo y en el rango de profundidad 0-6 cm del suelo. Los valores más bajos se encontraron en E (6,43%), los cuales fueron significativamente menores ( $p < 0,05$ ) que el resto de las situaciones estudiadas. En la fracción gruesa (arena) no se encontraron diferencias significativas entre las situaciones vegetacionales ni entre profundidades (0-6 y 6-12cm), sin embargo E fue la situación vegetacional que mostró los más altos porcentajes de *MOP* (2,39% y 2,16% en las profundidades antes indicadas). Los mayores porcentajes de *CAH* se encontraron en PLQ (2,7%). En contraste, los menores valores se encontraron bajo E (0,81%). Para el caso del *CAF*, QTCc representó la mayor contribución a esta fracción (1,7%) y, al igual que en la fracción húmica, E representó la menor contribución (0,74%). Estos resultados se asocian de manera adecuada a la tendencia de perturbación analizada, a excepción de E al obtener mayores niveles de materia orgánica en fracción gruesa y QTCc en *CAF* en 0-6 y 6-12 cm de profundidad del suelo.

El fraccionamiento físico o químico de la materia orgánica permite obtener información específica sobre la calidad del suelo, por lo tanto estas fracciones de la materia orgánica fracción fina y *CAH* pueden ser utilizados como indicadores de perturbación de los ecosistemas analizados.

*Palabras claves:* materia orgánica particulada (*MOP*), carbono ácido húmico (*CAH*), carbono ácido fúlvico (*CAF*), bosque esclerófilo, perturbación antrópica.

## ABSTRACT

In the forest region sclerophyllous we analyzed the variation of soil organic matter by physical and chemical fractionation, soil in four different situations with various sclerophyllous vegetation gradients of human disturbance, from a less disturbed P (Peumo) (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser) to another with greater disturbance PLQ (Peumo-Litre-Quillay) (*Lithraea caustica* (Mol.) Hook et Arn.) - (*Quillaja saponaria* Mol.) QTCc (Quillay-Tevo-Colliguay under colliguay cover) (*Retanilla trinervia* (Gillies et Hook.) Hook. et Arn.)- (*Colliguaja odorifera* Mol.), E (Hawthorn low tops) (*Acacia caven* (Mol) Mol.).

We determined the variation of particulated organic matter (*MOP*) of soil, fine fraction (silt + clay) and coarse fraction (sand) at two soil depths: 0-6 and 6-12 cm. Also, we calculated carbon associated to humic acids (*CAH*) and carbon associated to fulvic acids (*CAF*) at both depths. These properties were assessed by taking composite samples of. The (*MOP*) was determined by weight loss on ignition at 650 °C. The *CAH* and *CAF* was determined by the chemical method of Kononova and Rheim Ulrich. The highest percentages of organic matter (13,75%) were found under P in the fine fraction of the soil and in the range of 0-6 cm soil depth. The lowest values were found under E (6,43%), which were significantly lower than the rest of the analysed situations ( $p < 0,05$ ). In the coarse fraction (sand) no significant differences between the situations in both vegetation and depths (0-6 and 6-12cm) were found, however E was the vegetational situation that showed highest percentages of *MOP* (2,39% and 2,16% at the depths indicated before). The highest *CAH* percentages were found in PLQ (2,7%). On the other hand, the lowest values were found under E (0,81%). In the case of *CAF*, QTCc represented the largest contribution to this fraction (1,7%) and, as in the humic fraction, E represented the lowest contribution (0,74%). These results are appropriately associated to the tendency of disturbance analyzed, except for E to obtain greater levels of organic matter in coarse fraction and 0-6 QTCc in *CAF* and 6-12 cm soil depth.

The physical or chemical fractionation of organic matter allows specific information on soil quality, so these organic matter fractions fine fraction and *CAH* can be used as indicators of ecosystem stress analysed.

**Keywords:** particulated organic matter (*MOP*) carbon associated to humic acid (*CAH*), carbon associated to fulvic acid (*CAF*), sclerophyllous forest, human disturbance.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) es un material inestable y su permanencia en el medio edáfico es indefinida debido a que presenta periodos de descomposición que van desde semanas hasta siglos (Zagal *et al.*, 2002). La MOS participa en la formación y estabilidad del suelo, infiltración de agua, desarrollo de raíces y resistencia a la erosión, aspecto importante en la sustentabilidad de los ecosistemas, además corresponde a una fuente importante de nutrientes. Debido a estas importantes funciones ecosistémicas, su cuantificación es de vital importancia para guiar prácticas sustentables de manejo del suelo (Zagal *et al.*, 2002). El humus o materia orgánica humificada corresponde a la materia orgánica que ha sido utilizada y transformada por muchos organismos del suelo. El humus cumple con las siguientes funciones: mejora la eficiencia de los fertilizantes, ayuda en la absorción de nutrientes especialmente fósforo y calcio, conteniendo la salinidad de los suelos actuando como tampón, favorece la formación de agregados estables mejorando la estructura del suelo, otorga un color oscuro, produciendo el aumento de la temperatura en el suelo, interactúa con iones metálicos, óxidos, hidróxidos, minerales y compuestos orgánicos. Mediante esta formación de compuestos las sustancias húmicas disuelven, movilizan y transportan metales y materia orgánica en el suelo y el agua, o también pueden acumular compuestos en los diferentes horizontes del suelo (Bot y Benites, 2005). La MOS está constituida por una fracción lábil o activa, que corresponde a los componentes más dinámicos que liberan nutrientes y una fracción estable o pasiva la cual está compuesta por componentes recalitrantes generalmente muy humificados.

El fraccionamiento de la materia orgánica del suelo puede proveer información sobre el ciclado de diferentes materiales orgánicos y sus características funcionales o estructurales (Galantini *et al.*, 1994). Además Muñoz (2010) afirma que el fraccionamiento de la MOS según su tamaño, permite un mayor nivel de discriminación en cuanto a los efectos producidos por perturbaciones naturales o antrópicas en el suelo.

La MOS está considerada como el indicador más significativo de la calidad del suelo, ya que es el componente más importante a seleccionar entre un grupo de datos mínimos y necesarios para definir la calidad del suelo. Se define ésta como las propiedades físicas, químicas y biológicas que aportan un medio para el crecimiento de las plantas, regulan el flujo del agua al medio ambiente y sirven como regulador medio ambiental en la formación, atenuación y degradación de sus componentes. Por lo tanto la calidad del suelo puede servir como indicador de cambio en la capacidad que tiene el mismo para producir niveles óptimos de producción, manteniendo su integridad estructural y biológica (Benintende *et al.*, 2012).

Las propiedades biológicas como las bioquímicas de los suelos están íntimamente vinculadas con diversas funciones que se realizan en el medio y son sensibles a las perturbaciones que pueden ocasionar distintos manejos, por lo que se las considera como indicadores apropiados de la calidad del suelo (Benintende *et al.*, 2012). Por lo tanto la

MOS destaca por estar considerado como un indicador biológico sensible, y una de las mejores herramientas para evaluar los efectos de las distintas intensidades de manejo a las que es sometido este recurso (Jaramillo, 2011).

Existen distintos manejos agrícolas en el uso del suelo, que afectan de diversas maneras las propiedades de éste, especialmente a la MOS disminuyendo, manteniendo o aumentando su nivel, es así como la perturbación del suelo por labranza es una de las mayores causas de la disminución de la MOS y corresponde al principal componente que es influenciado por este sistema. El contenido de MOS disminuye frecuentemente con la intensidad de labranza, incrementando los flujos de CO<sub>2</sub> desde el suelo hacia la atmósfera. En cero labranza se promueve la acumulación de MOS principalmente en los primeros centímetros del perfil de suelo. El manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de carbono hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de carbono en formas orgánicas dentro del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Venegas (2008) señala que es necesario aplicar técnicas de cultivo conservacionista, ya que éstas incorporan residuos orgánicos al suelo para preservar la materia orgánica, con la finalidad de mantener en el futuro la fertilidad del suelo.

Aguilera *et al.*, (1998) estudió por dos años un suelo Andisol en Santa Bárbara Chile, distintos usos y manejos del suelo (bosque nativo, praderas naturales y artificiales, suelo con rotación intensiva, praderas con sistema encalado y sin encalado), encontrando que dicho manejo conservacionista de no inversión (cero labranza) en el suelo, no incidió en la pérdida de materia orgánica en comparación a otros tipos de labranza, información relevante para definir con un conocimiento adecuado las políticas a seguir en el uso sustentable de los recursos naturales, en especial el recurso suelo.

Para separar y estudiar la MOS existen diferentes métodos de fraccionamiento físico y químico. Los métodos de fraccionamiento físico definen y delimitan a los componentes de la MOS que integran propiedades estructurales y funcionales de significancia biológica, destaca el rol de los minerales y su estructura, localización de la MOS durante el proceso de transformación (*turnover*) de ésta. El fraccionamiento físico busca evitar cambios químicos durante el análisis de la MOS (Zagalet *et al.*, 2002). Mediante este método de fraccionamiento la materia orgánica se puede dividir en grupos según estructura y función: fracción liviana libre entre agregados, fracción liviana intragregados, fracción protegida entre los microagregados y fracción órgano- mineral o fracción pesada (Zagal y Córdova, 2005). A su vez Zagal *et al.*, (2002) afirman que la MOS está compuesta por dos componentes básicos: una fracción liviana caracterizada por no estar muy firmemente ligada a los minerales del suelo y por ser una materia orgánica poco transformada, y una fracción pesada que se encuentra incorporada en los complejos órgano-minerales del suelo y que está fuertemente transformada, constituyendo entre un 30 a 50% de la MOS.

El fraccionamiento físico, consiste en separar por tamaño y/o densidad la materia orgánica, se utiliza el tamizado, procedimiento que separa partículas de arena, limo y arcilla; la

fracción liviana puede ser separada de la fracción pesada por flotación con líquidos densos. La fracción liviana es considerada lábil mientras que la fracción pesada es considerada más estable ya que sobre sus superficies están las partículas de arcilla por lo tanto es más resistente a la degradación microbiana (McLauchlan y Hobbie, 2004).

Los métodos de fraccionamiento químico son variados e incluyen la hidrólisis del C lábil con ácido, digestión con permanganato. Estos métodos asumen que algunas propiedades de la materia orgánica hacen que ésta sea degradable por enzimas microbianas o sean menos resistentes a ataques químicos (McLauchlan y Hobbie, 2004).

En función de la solubilidad, utilizando cambios en el pH de soluciones, se definen tres grandes grupos de compuestos orgánicos de tipo húmico siendo los siguientes: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. Cada una de estas fracciones tiene determinadas características y propiedades. Los ácidos húmicos son solubles en solución alcalina, color pardo, alto peso molecular, están íntimamente ligados a las arcillas, son resistentes a la degradación y contienen alrededor de 50 a 60% de C. Los ácidos fúlvicos corresponden a la fracción húmica que permanece en la solución acuosa acidificada, son solubles en ácidos y bases y poseen cerca de 43% a 52% de C. Las huminas son la parte no soluble; por lo tanto no extraíble, y de mayor peso molecular (Zabala, 2003).

El fraccionamiento químico, permite conocer la cantidad y propiedades de la fracción húmica, parte esencial de la MOS, así como el grado de humificación, mediante métodos de separación densitométricos, extracciones selectivas en las distintas fracciones separadas, como el contenido de carbono en los ácidos húmicos (*CAH*) y en los ácidos fúlvicos (*CAF*), la relación de humificación (*CAH/CAF*), las densidades ópticas a distintas longitudes de onda, el índice de humificación y la composición elemental de los ácidos húmicos (Jaramillo, 2011).

Algunos factores que determinan la formación de sustancias húmicas son las condiciones climáticas, contenido de arcilla, tipo de vegetación, drenaje, actividad biológica, quema de vegetación y otras perturbaciones (Andreux y Becerra, 1975).

Los ecosistemas esclerófilos de la Zona Central de Chile están considerados como uno de los ecosistemas que presentan alta biodiversidad, frágiles y altamente alterados por factores humanos. Estos ecosistemas han sufrido por años perturbaciones antropogénicas como sobrepastoreo, aradura del suelo, quema para deforestación, desarrollo de asentamientos humanos, extracción de tierra de hojas, las cuales han provocado cambios en la materia orgánica del suelo, implicando modificaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del sistema edáfico. Por lo tanto, es de vital importancia analizar los cambios que ocurren con la materia orgánica puesto que si ésta disminuye los ecosistemas ven alterados su ciclo de nutrientes afectando directamente la productividad y el balance ecosistémico.

Las zonas boscosas de la zona mediterránea de Chile son importante desde el punto de vista de las funciones ecosistémicas tales como: regular el balance hídrico, mantener laderas y

suelos, conservar y desarrollar el hábitat para la fauna, la flora silvestre y la biodiversidad (Tapia, 2005). La región del matorral y bosque esclerófilo es la más representativa del área mediterránea de Chile (Gajardo, 1994).

Este estudio tiene por objetivo analizar la variación de la materia orgánica del suelo, particularmente en términos de su fraccionamiento físico y químico, en ecosistemas esclerófilos sometidos a distintos grados históricos de perturbación humana, para lo cual se analizaron cuatro tipos de situaciones vegetacionales pertenecientes a ecosistemas esclerófilos y que son indicativas de distintos grados de perturbación antrópica.

Como objetivos específicos se han planteado:

1. Determinar la *MOP* asociada a las fracciones finas (limo+arcilla) del suelo y fracciones gruesas (arena) en las distintas situaciones esclerófilas en estudio.
2. Determinar para cada situación esclerófila el carbono asociado a los ácidos húmicos *CAH* y carbono asociado a los ácidos fúlvicos *CAH*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

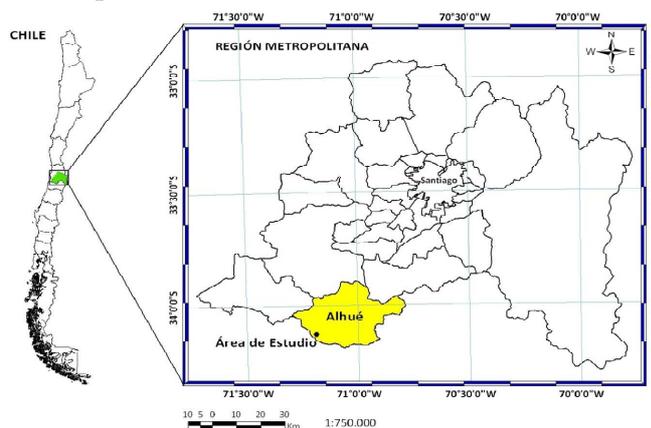
### Área de Estudio

Esta investigación se realizó en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, comuna de Alhué, provincia de Melipilla Región Metropolitana, siendo administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de la Región de O' Higgins. El sector en estudio presenta un clima templado-cálido (Cs) con una estación seca prolongada de una duración de 6 a 8 meses. Las precipitaciones se concentran en los meses de invierno y presentan una media anual de 503 mm (Santibáñez y Uribe, 1993).

La reserva se encuentra ubicada en el valle central de Chile área de topografía montañosa correspondiente a Los Altos de Cantillana con altitudes cercanas a los 2.000 msnm, disectado por valles encajonados con altas pendientes sector que presenta rocas intrusivas, jurásicas y cretácicas, rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas (EULA, 2004).

La reserva presenta suelos que poseen características diferentes. El sector de montaña está caracterizado por altas pendientes en que los suelos tienen texturas livianas a medias. A medida que las pendientes disminuyen (sectores de lomajes) la textura se hace más pesada. En el sector de valle y terrazas aluviales los suelos tienen por lo general texturas arcillosas a limosas (CONAF, 2008). Algunas características físicas y morfológicas de los pedones por las distintas situaciones vegetacionales estudiadas se entregan en el anexo I.

Geográficamente, el área de estudio se extiende aproximadamente entre las coordenadas UTM Norte 6.225.000-6.217.000m y entre las coordenadas UTM Este 312.000-324.000, corresponde a un área de aproximada de 5.870 hectáreas, entre 250-2.050 msnm (Figura 1).



*Figura 1. Ubicación de la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha en la Comuna de Alhué, Región Metropolitana (Obtenido de Gatica, 2010).*

### **Formaciones Vegetacionales existentes en la Reserva Roblería del Cobre de Loncha según el plan de manejo**

La Reserva se encuentra inserta en la Región del Matorral y Bosque Esclerófilo y Región del Bosque Caducifolio de acuerdo a la clasificación de Gajardo (1994). Ésta tiene en su interior 13 formaciones vegetacionales agrupadas en 7 unidades vegetacionales (bosque caducifolio, bosques y matorrales esclerófilos, matorral espinoso, matorral de altura, bosques y matorral hidrófilo y puyales (CONAF, 2008). Las formaciones vegetales representativas de la reserva corresponden a:

*Matorral Esclerófilo:* Formación arbustiva dominada por especies esclerófilas pudiendo presentar individuos arbóreos asociados. Ubicado en sectores planos y con pendiente, en distintas exposiciones. En exposición norte está asociado a especies xéricas como quiscos (*Echinopsis chilensis*), puyal (*Puya Berteroniana*) y chagualillo (*Puya Coerulea*).

*Bosque Esclerófilo de Peumo:* Esta formación es la segunda en extensión. Sube a mayores alturas por sobre los 900 msnm se encuentra en casi todas las exposiciones formando bosques puros y otros con diferentes asociaciones. El estrato superior está conformado por las especies de peumo y quillay y en el inferior se encuentra el litre y el radial (*Lomatia hirsuta*). El bosque de peumo en quebradas se encuentra mayoritariamente en laderas de exposición norte; se desarrolla en quebradas debido a la presencia de elementos de microrelieve asociados a una mayor humedad permitiendo su crecimiento en condiciones de sequedad. El peumo alcanza alturas de hasta 12 m en el estrato superior, en el estrato inferior está presente el litre y en las partes bajas el quillay.

*Matorral Esclerófilo de Litre:* Formación vegetal en la que predomina el litre, las especies en esta formación no sobrepasan los 3 m. Está distribuido en laderas de mayor sequedad y en terrenos planos donde hubo acción antrópica.

*Espinal-pradera:* Formación arbustiva degradada, dominada por espino asociada a una pradera seminatural y algunas especies arbustivas como palqui (*Cestrum palqui*).

Cabe destacar que en la Reserva, como también en las áreas adyacentes a ésta, hubo un uso agrícola intensivo provocando cambios en la vegetación y ecosistemas asociados. En la actualidad, se puede observar un gradiente de coberturas vegetacionales en respuesta a las presiones antrópicas históricas.

Para el estudio se seleccionaron en la formación vegetal bosques y matorrales esclerófilos cuatro situaciones vegetacionales que representan un gradiente de perturbaciones: a) bosque de Peumo (*Cryptocarya alba*), el cual es la situación menos perturbada, caracterizada por un bosque de segundo crecimiento, b) bosque de Peumo-Litre (*Lithraea caustica*) - Quillay (*Quillaja Saponaria*) (PLQ), caracterizado por vestigios de quemados y talas más recientes, c) situación de Quillay-Tevo (*Retanilla trinervia*) – Colliguay (*Colliguaja odorifera*) (QTC), la cual representa un mayor grado de intervención antrópica y caracterizado por incendios, y talas más frecuentes y el uso de arado y finalmente una situación de pradera con espino (*Acacia caven*) (E) como especie acompañante, la cual es considerada una situación de alto grado de intervención, que incluye uso previo del ecosistema en carboneo, agricultura (incluyendo aradura) y ganadería. Variables dasométricas de cada una de estas situaciones se entregan en el cuadro 1.



*Figura 2. Situaciones Vegetacionales en estudio A=Peumo, B=PLQ (peumo-litre-quillay)C=QTC (quillay-tevo-colliguay), D=E (pradera-espino).  
Imágenes gentileza de J. P. Fuentes.*

La vegetación de matorrales y bosque esclerófilos existentes actualmente es la expresión de diferentes estados sucesionales, progresivos o regresivos de distintas comunidades vegetacionales. Es preciso remontarse a ciertas propiedades originales para comprender las características actuales de los sistemas en estudio. El bosque esclerófilo ha sufrido intensamente el impacto del hombre, provocando desaparición y/o disminución de especies, alterando las características del suelo, provocando que sólo se regeneren aquellas especies que rebrotan vigorosamente de los tocones o raíces. Se destaca en esta dinámica el Espino el cual forma comunidades (espinales) en que el sotobosque está constituido principalmente por especies herbáceas (Tapia, 2005).

La formación del espinal corresponde generalmente a una retrogradación del bosque esclerófilo o latifoliado pre-existente. También esta formación puede representar una etapa final de equilibrio inferior al clímax climácico constituyendo un sub-clímax. La formación de espinal puede retrogradar a otras de menor tamaño y desarrollo a causa de la acción de herbívoros o tala de individuos. Así estas comunidades vegetales, bajo una continua sobreutilización, se transforman en matorrales abiertos, e incluso en etapas de degradación más avanzadas, se elimina completamente el estrato leñoso, dando paso al desarrollo de un estrato herbáceo único (Tapia, 2005).

**Cuadro 1.** Variables dasométricas promedio ( $\pm$  un error estándar) de las cuatro situaciones vegetacionales estudiadas.

Variable	P	PLQ	QTC	E
Cepas/ha	1611 $\pm$ 91	1728 $\pm$ 384	277 $\pm$ 140	240 $\pm$ 88
Vástagos/ha	2810 $\pm$ 607	2736 $\pm$ 226	619 $\pm$ 311	363 $\pm$ 77
Altura Total (m)	10,67 $\pm$ 0,6	8,49 $\pm$ 0,5	7,15 $\pm$ 1,3	2,38 $\pm$ 0,6
DAP promedio (cm)	10,75 $\pm$ 1,1	9,59 $\pm$ 0,3	15,28 $\pm$ 4,9	8,02 $\pm$ 1,9
Inicio de copa (m)	5,32 $\pm$ 0,2	4,01 $\pm$ 1,1	1,73 $\pm$ 0,3	0,96 $\pm$ 0,2
Área Basal (m <sup>2</sup> /Ha)	31,13 $\pm$ 7,94	23,77 $\pm$ 3,36	7,9 $\pm$ 2,74	2,46 $\pm$ 0,66
Diámetro de Copa (m)	3,21 $\pm$ 0,3	4,08 $\pm$ 0,2	5,59 $\pm$ 0,4	2,48 $\pm$ 0,4
Cobertura de copas (%)	84,68 $\pm$ 0,91	80,21 $\pm$ 0,75	48,47 $\pm$ 2,35	24,06 $\pm$ 0,9

Fuente: Inventario forestal proyectos FONDECYT 1090283-1090259.

### Muestreo de suelo

Se trabajó en 12 parcelas correspondientes a las cuatro situaciones vegetacionales (P-QTC-PLQ-E) con tres parcelas seleccionadas por situación. Cada parcela de estudio tiene una superficie de 25 m x 25 m (625 m<sup>2</sup>), desde las cuales se obtuvieron en la primavera de 2010 (septiembre) tres muestras compuestas de suelo a dos profundidades 0-6 y 6-12 cm con un barreno columnar cilíndrico.

Cada muestra compuesta se generó a partir de 7 submuestras, obtenidas aleatoriamente dentro del área de muestreo. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno, rotuladas y llevadas al laboratorio.

Cabe destacar que para este estudio las muestras correspondientes a la situación QTC fueron obtenidas bajo las copas de colliguay (QTCc). De similar manera, las muestras de la situación vegetacional E fueron obtenidas bajo las copas de espinos de manera de representar el potencial efecto de esta especie en las propiedades medidas.

### Determinación de la materia orgánica particulada

Las muestras obtenidas fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm. Por cada muestra compuesta de suelo se extrajeron 10g de suelo a los cuales se les adicionó 50 ml de hexametáfosfato de sodio. Las suspensiones fueron agitadas durante 16 horas, para luego tamizar las muestras (365 mallas) de manera de separar la fracción gruesa (arena) de la fracción fina (limo+arcilla). El suelo que pasó a través del tamiz se trasvasijó a vasos precipitados para llevarlos a estufa de manera de evaporar el agua a una temperatura de 105°C. La fracción arena fue puesta en una vasija de cerámica para llevarla a estufa de 105°C. Una vez que las muestras se secaron fueron pesadas y llevadas a una mufla (Thermolyne, Type 1400, USA) para calcinarlas a 650°C durante 2 horas y nuevamente ser pesadas (Metodología adaptada de Muñoz, 2010).

La determinación de la materia orgánica en las diferentes fracciones fue mediante pérdida de peso por calcinación, utilizando la siguiente relación (Sadzawka *et al.*, 2006):

$$\text{Pérdida por calcinación (\%)} = \frac{A-B}{A-C} \times 100 \quad (1)$$

En donde,

A: Masa de la cápsula de cerámica más la fracción de suelo seco previo a la calcinación (g).

B: masa de la cápsula de cerámica más el residuo de la calcinación (g).

C: es la masa de la cápsula de cerámica (g).

La materia orgánica (MO%) se determinó matemáticamente, considerando que un 20% de los materiales volatilizados corresponden a compuestos no relacionados a la materia orgánica:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \text{Pérdida por Calcinación (\%)} \times 0,8 \quad (2)$$

### Determinación de carbono asociado a ácidos húmicos y ácidos fúlvicos

La extracción de las sustancias húmicas (carbono húmico, carbono fúlvico) del suelo, se realizó mediante un fraccionamiento de la materia orgánica basado en la solubilidad en medios ácidos y alcalinos según el método descrito por Kononova.

Las muestras utilizadas fueron tamizadas a 0,5 mm y secadas al aire, por cada muestra compuesta de suelo se extrajeron 25g, adicionándole NaOH 0,1N a la solución, posteriormente se agregó HCl hasta pH 2, se agitó y se llevó a 100°C luego se centrifugó a 5000 rpm durante 5 minutos. En esta solución se encuentra el carbono orgánico total extraíble.

Luego se procedió a la purificación de las fracciones (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos), posteriormente el carbono húmico y carbono fúlvico se determinó por colorimetría de acuerdo al método de Rhiem Ulrich, utilizando un espectrofotómetro (Spectronic 21, Ray Leigh UV-1601) se midió la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm (Oyanedel, N. 1992).

### **Análisis Estadístico**

Para evaluar las diferencias entre las distintas situaciones vegetacionales (P-PLQ-QTC-E) se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para fracción fina y fracción gruesa, CAH y CAF en dos profundidades. Diferencias significativas en las medias de estas fracciones, fueron determinadas mediante el test de diferencias mínimas (LSD) (test de Fischer) con un nivel de significación del 5%.

Previo al análisis, los datos fueron evaluados en términos de cumplir los supuestos de homogeneidad de varianza y distribución normal de residuo determinados mediante el test de Ryan-Joiner y la prueba Levene's.

Las posibles relaciones entre las fracciones de materia orgánica asociadas a arena y limo+ arcilla y las fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos se analizaron mediante regresiones lineales simples. Este análisis se realizó de manera independiente para cada situación vegetacional y profundidad. Para el análisis estadístico se utilizó el software MINITAB 16.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Materia orgánica particulada

La Figura 3 muestra bajos niveles de MO en la fracción gruesa. Esto es esperable ya que la MO arena es más lábil, más activa y de fácil descomposición (Martínez *et al.*, 2008) y susceptible a cambios del medio como alteraciones antropogénicas (Muñoz, 2010). Además es una importante fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo (Muñoz *et al.*, 2007). Según Benintende *et al.*, (2012) afirman que la fracción lábil del suelo es la que aporta los nutrientes a las plantas, y es la primera en descomponerse como resultado del laboreo, ésta fracción posee una baja agregación ya que no se encuentra ligada a los minerales del suelo (Zagal *et al.*, 2002) por lo tanto no está protegida físicamente, quedando más accesible al ataque microbiano.

La fracción fina tuvo mayores niveles de materia orgánica, debido al tamaño de sus componentes que forman complejos recalcitrantes que resisten a la degradación. Además, las texturas finas (limo+arcilla) ejercen un papel importante en la protección físico-química de la materia orgánica al favorecer la formación de microagregados y la estabilidad de ésta, reduciendo su tasa de descomposición. Este hecho se explica por el comportamiento químico que poseen las partículas de arcilla, ya que poseen una elevada superficie específica y numerosos puntos reactivos permitiendo de esta manera la adsorción de la materia orgánica, estas características en conjunto explican que la materia orgánica está asociada mayoritariamente a la fracción fina del suelo (Armas, 2009).

Matus y Maire (2001) señalan que suelos con texturas finas retienen más carbono comparativamente con suelos que presentan texturas gruesas, debido principalmente a la mayor protección física sobre la MOS contra la biodegradación, la protección ocurre cuando la MOS como se señaló anteriormente es adsorbida por las partículas de arcilla y limo o cuando es incrustada o recubierta por los minerales de arcilla o cuando se localiza dentro de los microagregados fuera del alcance de los microorganismos, mecanismos que afectan negativamente las tasas de mineralización de C y N. Martínez *et al.*, (2008) señalan que la MOS puede ser protegida de la descomposición acelerada mediante: estabilización física por la microagregación, estabilización físico-química mediante la asociación con partículas de arcilla y estabilización bioquímica a través de la formación de compuestos altamente recalcitrantes. Las fracciones por tamaño de partícula están basadas en que generalmente el C de la fracción de tamaño arena es más lábil que el C en las fracciones arcilla y limo (Ruipérez *et al.*, 2004).

Cabe destacar que el contenido de materia orgánica en la fracción fina es entre 7 y con 11 veces superior a la que se encuentra en la fracción gruesa. Según Frioni (1999), la materia orgánica está mayormente asociada a la fracción fina y en los primeros centímetros del suelo, encontrándose directamente relacionada con la disposición de los nutrientes para la

fauna edáfica (biomasa microbiana). Sin embargo, en la situación de espino (más perturbada) la diferencia entre las fracciones gruesas y finas disminuyen entre 2,6 y 3,2 veces mayor en la fracción fina que en la fracción gruesa (ver apéndice I). Esto muestra que el gran reservorio de materia orgánica sigue estando asociado a la fracción fina, la cual ha resistido a los procesos de perturbación. Sin embargo, la tendencia en el largo plazo es que a mayor grado de perturbación, la acumulación de C en la fracción fina disminuya.

Matus y Marie (2001) afirman que estudios sobre el fraccionamiento físico de la MOS muestran que la mayor parte del C está asociado a las partículas de arcilla y limo, además suelos arenosos poseen una concentración de C hasta 7 veces superior en sus partículas de arcilla y limo comparativamente a suelos arcillosos. Estos resultados están explicados por una hipótesis planteada de acuerdo a Hassink *et. al.*, (1999), citados por Matus y Marie (2001) en que señalan que las fracciones de arcilla y limo en suelos arenosos se encuentran más libres, mientras que en suelos arcillosos forman densos paquetes de agregados. Por lo tanto la superficie específica disponible para retener MOS es muy superior en suelos arenosos que en suelos arcillosos (Ver apéndice II).

La fracción gruesa en ambas profundidades tuvo los menores porcentajes de MO, hecho explicado según señala Muñoz (2010) en que las partículas orgánicas de mayor tamaño se asocian generalmente con el complejo de materia orgánica particulada más gruesa (arena) y lábil la que pudiese ser más afectada ante alteraciones del medio edáfico.

Como se muestra en la Figura 3 no existieron diferencias significativas en la MO fracción gruesa entre las distintas situaciones vegetacionales y para las dos profundidades analizadas (0-6 y 6-12 cm). Sin embargo, la situación vegetacional E es la que tuvo, como tendencia, el mayor porcentaje de MO arena debido a la presencia de plantas anuales (plantas no lignificadas) de fácil degradación que aportarían principalmente a la fracción gruesa de la materia orgánica. Esto coincide con lo expresado por Maturana y Acevedo (2003) quienes señalan que la materia orgánica está compuesta por tres fracciones de descomposición química. La primera fracción de fácil descomposición (lábil) corresponde a carbohidratos y proteínas, una fracción intermedia de descomposición, compuesta por celulosa y hemicelulosa, y una fracción recalcitrante constituida por lignina (ver anexo II).

En contraste, la MO asociada a la fracción fina, tuvo cambios significativos en función de la situación vegetacional P y PLQ en las dos profundidades de muestreo. En este sentido, el bosque de P y PLQ tuvieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los contenidos de MO en la fracción fina en los rangos de profundidad 0-6 y 6-12 cm comparativamente con la situación vegetacional E. En términos específicos la MO (limo+arcilla) tuvo una tendencia decreciente en el orden  $P > PLQ > QTCc > E$  (ver figura 3) comparándose entonces una relación entre tipo de cobertura vegetacional (hojarasca) y MO en las fracciones finas. El bosque de peumo y PLQ tienen el mayor porcentaje de materia orgánica debido principalmente al mayor aporte de hojarasca y cobertura arbórea (ver cuadro 1) en el sistema edáfico, además caracterizado por un mayor tiempo de permanencia sin perturbaciones. Ambas situaciones vegetacionales poseen un suelo tipo franco arenoso (ver apéndice II).

En profundidad la materia orgánica tiende a disminuir en la fracción gruesa y fracción fina (ver figura3) pero no significativamente.

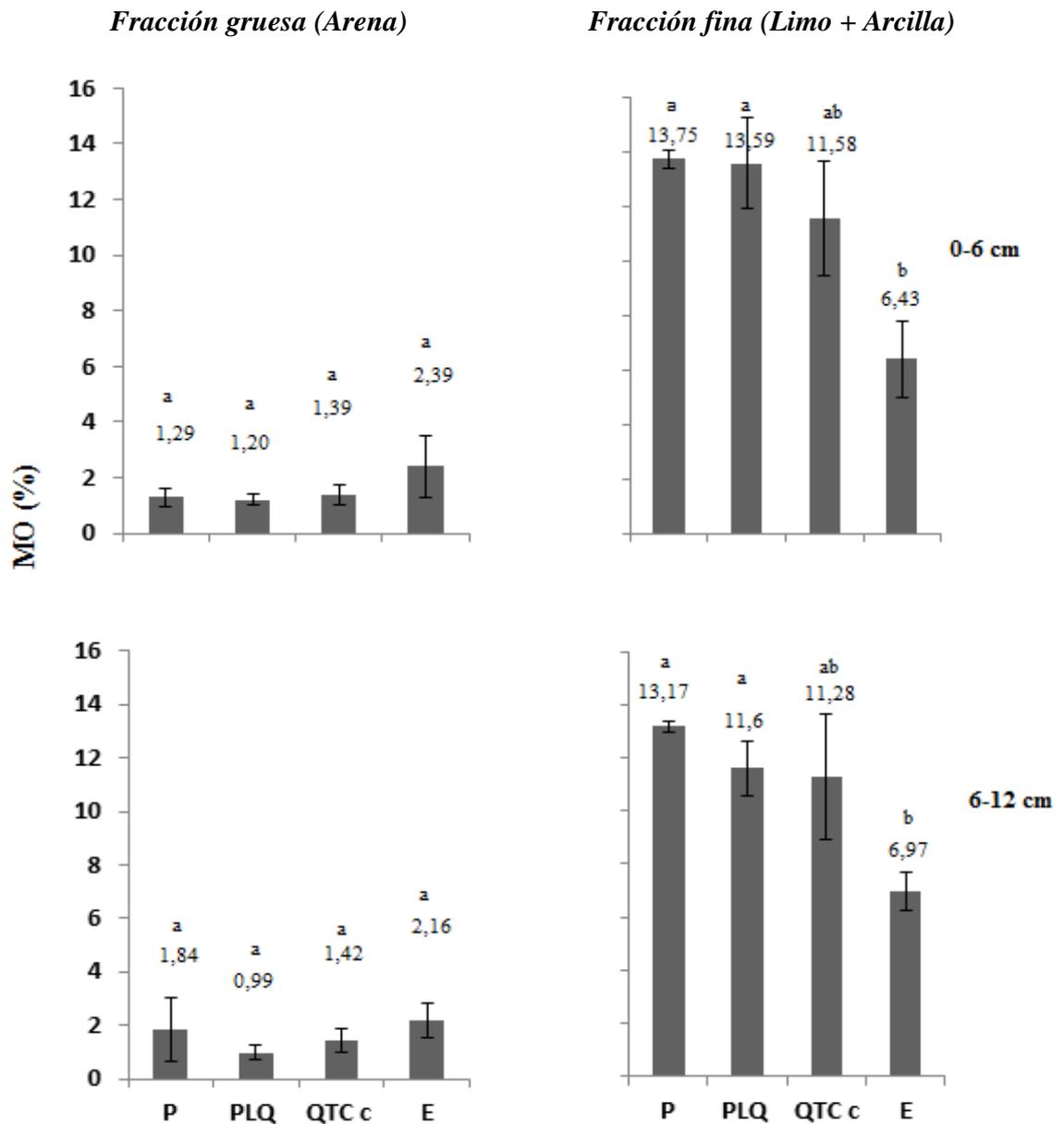


Figura 3. Valores promedio de materia orgánica (%) en fracciones gruesa y fina en el rango de 0 a 6 y 6 a 12 cm de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las situaciones vegetacionales con un nivel de significancia del 5%, según la prueba de medias (comparaciones) de Fischer. Las barras de error corresponden al error estándar (n=3). P= Peumo, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay, bajo cobertura colliguay, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, E= Espino.

### Carbono asociado a ácidos húmicos y fúlvicos

La Figura 4 muestra los contenidos de carbono en los ácidos húmicos y fúlvicos en las situaciones vegetacionales P-PLQ-QTCc-E en los rangos de profundidad 0-6 y 6-12 cm del suelo. Al comparar los contenidos de *CAH* y *CAF*, considerando todas las situaciones vegetacionales, muestran un predominio de los ácidos húmicos, lo cual ha sido reportado por Garcés *et. al.*, (2009) y Curaqueo, (2010) (Ver anexo I). Estas diferencias se deberían a la mayor recalcitrancia o estabilidad de los ácidos húmicos. Rubenacker *et. al.*, (2011), señalan que los ácidos húmicos son la fracción de la materia orgánica más estable (resistente) a la degradación microbiana por lo tanto son más recalcitrantes que los ácidos fúlvicos. También existe una estratificación de los compuestos húmicos ya que tanto los ácidos húmicos como fúlvicos se encuentran en mayor cantidad en superficie. En este sentido se encontraron 1,3 a 1,5 veces más ácidos húmicos en los primeros seis centímetros de suelo comparados con los siguientes seis centímetros de profundidad. En el caso de los ácidos fúlvicos la razón varía entre 1,5 a 1,8 veces más ácidos fúlvicos en superficie que en profundidad. López *et. al.*, (2004) señalan que al aumentar la profundidad disminuye la concentración de ácido húmico en el suelo, mientras que aumenta la de ácido fúlvico, atribuido usualmente a la distinta solubilidad de estas dos fracciones. Lorenz y Lal (2005) afirman que los compuestos más estables de la materia orgánica (sustancias húmicas) aumentan en profundidad debido a sus características químicas, estas sustancias van aumentando su naturaleza recalcitrante.

La Figura 4 indica que el contenido de carbono húmico es mayor en las situaciones vegetacionales menos perturbadas siguiendo una tendencia decreciente PLQ>P>QTCc>E. Estos resultados concuerdan con Aranda y Oyonarte (2005) en su estudio realizado en Cabo de Gata-Níjar Natural Park España en el que se analizaron tres tipos de vegetación mediterránea representativa de la zona semiárida española con distintos grados de perturbación. Los suelos bajo la vegetación menos perturbada tuvieron mayores porcentajes de materia orgánica estable. Velasco (1998) encontró una tendencia similar en un estudio comparativo sobre el impacto del cambio de vegetación sobre diversos parámetros edáficos en España en que comparó cuatro situaciones vegetacionales degradadas a partir de la etapa relictual del bosque de *CastaneasativaMill*, pasando por formaciones arbustivas (jalares, cantuesares) hasta una fase sustitutiva con la especie *Pterodium aquilinum L.* La concentración de ácidos húmicos en el suelo siguió la tendencia de degradación de los tipos de vegetación.

Entre las situaciones vegetacionales P-PLQ y QTCc no hubo diferencias significativas entre los contenidos de ácidos húmicos. PLQ tuvo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los rangos de profundidad 0-6 y 6-12 cm comparativamente E (Ver figura 4). Ramírez *et. al.*, (2003) señalan que existe un mayor contenido de materia orgánica en los suelos de los bosques en comparación a los suelos de praderas debido a que en los bosques es menor la velocidad de descomposición de los residuos, además de ser más húmedos y fríos por la menor luminosidad incidente y contar con una acumulación de materia orgánica en el suelo con mayor proporción de material leñoso difícil de degradar (Cuevas, 2006).

Además PLQ obtuvo los mayores aportes de carbono de ácidos húmicos que P (aunque no existen diferencias significativas) posiblemente debido al mayor aporte de hojarasca en cantidad y calidad ya que, PLQ recibe aporte de hojarasca de Peumo, Litre y Quillay comparativamente con P cuyo aporte de hojarasca está proporcionado por el Peumo. De acuerdo a lo anteriormente señalado, Huertas (2005) en su estudio preliminar de distribución por tamaños moleculares de los ácidos húmicos en un Andisol ubicado en el municipio de Chinchiná (Caldas) y bajo tres coberturas de bosque de Padua, café libre exposición y pastoreo, señala que existe una influencia favorable en los procesos de humificación debido a la hojarasca en los lotes con cobertura (café a libre exposición y pastoreo) reflejado en un aumento en el porcentaje de humificación de éstos respecto al testigo (bosque de Padua).

QTCc tuvo los niveles más altos de ácidos fúlvicos en comparación con P-PLQ-E, no hubo diferencias significativas entre P-PLQ y QTCc. QTCc tuvo diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los rangos de profundidad 0-6 y 6-12 cm comparativamente con la situación vegetal E (Ver figura 4) lo cual al parecer se relacionaría a que Colliguay es la especie más recalcitrante en comparación a las otras especies que componen las situaciones vegetacionales.

El colliguay es una especie que posee características bioquímicas insecticidas. La hoja de esta especie presenta altos contenidos de fenoles los que influyen en la palatabilidad, por lo tanto presenta una menor depredación de las hojas por los insectos. La dinámica de crecimiento foliar, la pérdida de las hojas y la depredación de estas se correlacionan con los compuestos fenólicos (Montenegro *et al.*, 1980). Según Armas (2009) existe una relación entre la cantidad de polifenoles y la tasa de descomposición de las hojas: a mayores cantidades de polifenoles mayor tiempo se requiere para la descomposición de la hojarasca. Bittner *et al.*, (2001) señalan en su estudio químico de especies de la familia euphorbiaceae en Chile que, del género *Colliguaja* se estudiaron las especies *C. dombeyana*, *C. odorifera* y *C. salicifolia* de las que se aislaron diterpenos y flavonoides conocidos (lupel, ácido ursólico,  $\beta$  sitosterol, ácido oleanólico, glucosa-rhamnosa, rhamnosa-arabinosa). Del estudio preliminar se comprobó que colliguaja odorifera presentó actividad antimicrobiana positiva en los organismos *S. aureus*, *E. coli* y *S. lutea* en hojas y tallos. Por ende, la dinámica de descomposición de la materia orgánica y síntesis de compuestos humificados, a partir de esta especie cobra especial importancia.

### **Relación de C de ácidos húmicos y fúlvicos**

El parámetro de humificación del suelo,  $CAH/CAF$  (ver apéndice III) sigue la siguiente tendencia  $PLQ > P > QTCc > E$ , estos resultados permiten demostrar que existe una mayor humificación en los suelos de las situaciones vegetacionales menos alteradas (PLQ y P) mientras que los suelos de QTCc y E reflejan un menor grado de humificación. Por lo tanto PLQ y P poseen un mayor grado de evolución o más bien un menor grado de perturbación,

mientras que QTCc y E por haber obtenido los menores valores en el parámetro de humificación sus suelos tienen menor grado de evolución y o un mayor grado de perturbación antrópica.

Los suelos de mayor evolución, presentan una relación  $CAH/CAF$  mayor a la unidad, con un intervalo de variación de 1,15 a 2,0. En suelos menos evolucionados esta relación es inferior a la unidad, en un intervalo de 0,36 a 0,53 (Armas *et al.*, 2009).

Según Lozano *et. al.*, (2008) señalan que éste parámetro de humificación permite detectar diferencias en las sustancias húmicas del suelo, ya que a mayores valores, el suelo presentaría mayor humificación y compuestos de mayor grado de polimerización. A su vez Jaramillo (2011) señala que esta relación establece que componente AH o AF predomina en el suelo, por lo tanto una relación baja implica un menor grado de humificación, mayor peso molecular y mayor carácter aromático en los AH que en los AF, de acuerdo a esto P y PLQ tienen mayores niveles de ácidos húmicos en contraste a las situaciones vegetacionales con mayor grado de perturbación antrópica QTCc y E.

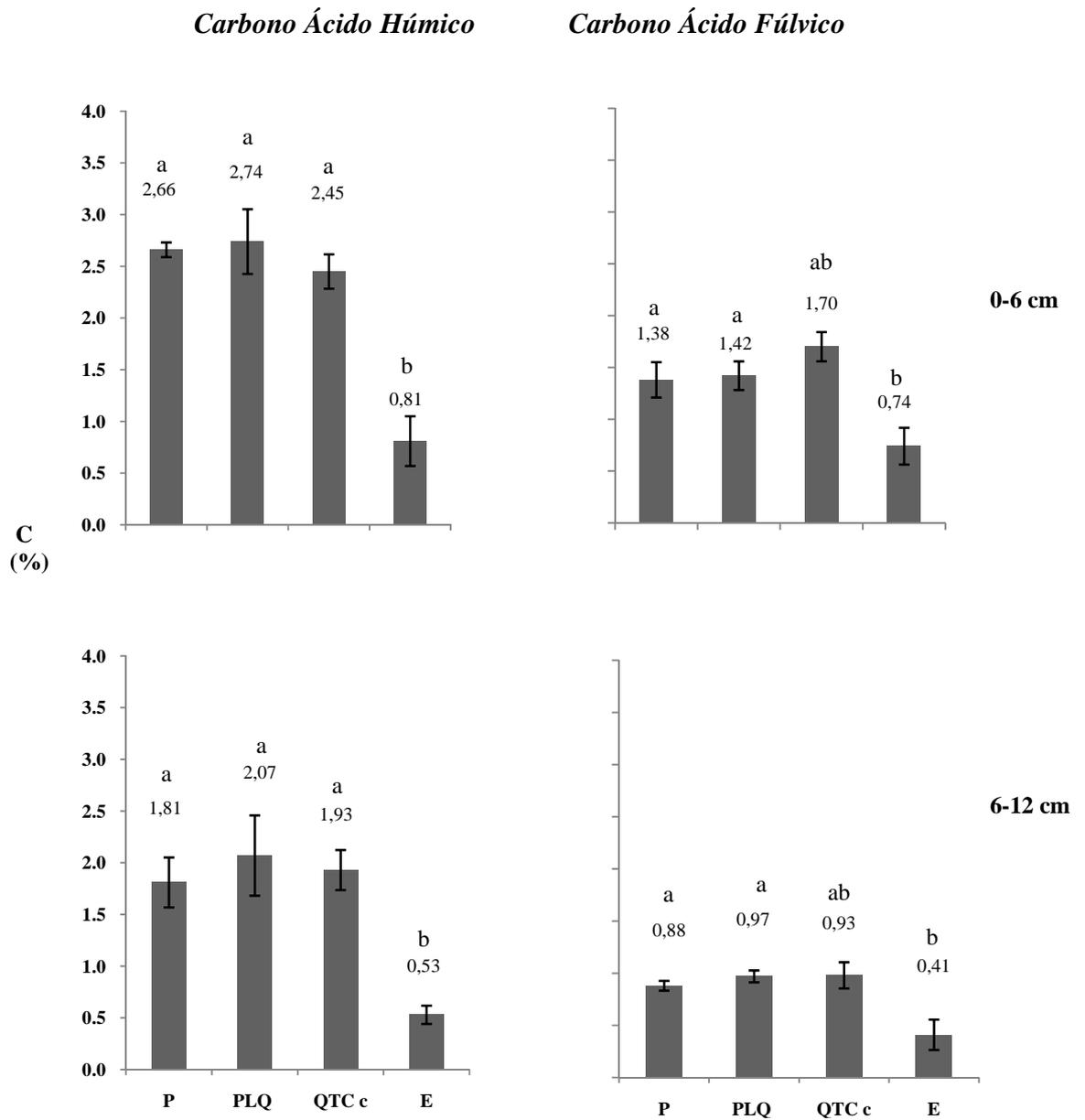


Figura 4. Valores promedios (%) de Carbono asociado a ácido húmico y carbono asociado a ácido fúlvico en el rango de profundidad 0 a 6 y 6 a 12 cm. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las situaciones vegetacionales con un nivel de significancia del 5%, según la prueba de medias (comparaciones) de Fischer. Las barras de error corresponden al error estándar (n=3). P=Peumo, QTC c=Quillay-Tevo-Colliguay, bajo cobertura colliguay, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, E= Espino.

## Asociaciones de regresión entre las fracciones físicas y químicas de la materia orgánica

Los cuadros 2 y 3 muestran que las ecuaciones mayoritariamente presentan coeficientes de determinación bajos, por lo tanto no hubo correlaciones significativas. Se desprende de estos cuadros (2 y 3) que la cantidad de MOP no se relaciona a la calidad química del C. De acuerdo a lo señalado Ruipérez *et. al.*, (2004) señalan que existen estudios que demuestran que algunas propiedades del suelo dependen más de la cantidad de materia orgánica acumulada en diferentes fracciones de tamaño que de los contenidos de MOS.

Cuadro 2. Resumen de ecuaciones lineales de carbono asociado a ácido húmico, carbono asociado a ácido fúlvico y materia orgánica particulada fracción gruesa.

Situación	CAH				CAF			
	0-6 cm.		6-12 cm.		0-6 cm.		6-12 cm.	
	Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>P</b>	$y=-0,193x+3,039$	0,62	$y=0,095x+1,163$	0,37	$y=-0,192x+1,624$	0,19	$y=0,019x+0,908$	0,06
<b>PLQ</b>	$y=-1,895x+4,638$	0,88	$y=-1,66x+2,113$	0,00	$y=-0,877x+2,302$	0,66	$y=0,599x+0,367$	0,43
<b>QTCc</b>	$y=0,268x+1,323$	0,25	$y=-0,140x+1,216$	0,03	$y=0,0581x+0,576$	0,09	$y=0,259x+0,612$	0,47
<b>E</b>	$y=0,070x+0,640$	0,15	$y=-0,078x+0,699$	0,33	$y=0,044x+0,629$	0,10	$y=0,070x+0,261$	0,14

CAH: Carbono ácido húmico, CAF: Carbono ácido fúlvico, P: Peumo, PLQ: Peumo-Litre-Quillay, QTCc: Quillay-Tevo-Colliguay, E: Espino, R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Cuadro 3. Resumen de ecuaciones lineales de carbono asociado a ácido húmico, carbono asociado a ácido fúlvico y materia orgánica particulada fracción fina.

Situación	CAH				CAF			
	0-6 cm.		6-12 cm.		0-6 cm.		6-12 cm.	
	Ecuación	R <sup>2</sup>						
<b>P</b>	$y=0,044x+2,151$	0,92	$y=-0,010x+1,941$	0,00	$y=0,268x+1,323$	0,25	$y=-0,008x+0,996$	0,02
<b>PLQ</b>	$y=0,068x+2,017$	0,56	$y=0,272x+1,080$	0,72	$y=0,047x+0,778$	0,11	$y=0,036x+0,555$	0,11
<b>QTCc</b>	$y=-0,029x+2,291$	0,06	$y=-0,022x+1,222$	0,07	$y=0,002x+1,725$	0,00	$y=-0,015x+1,120$	0,03
<b>E</b>	$y=-0,051x+1,141$	0,14	$y=-0,004x+0,560$	0,00	$y=-0,046x+1,038$	0,18	$y=-0,056x+0,722$	0,63

CAH: Carbono ácido húmico, CAF: Carbono ácido fúlvico, P: Peumo, PLQ: Peumo-Litre-Quillay, QTCc: Quillay-Tevo-Colliguay, E: Espino, R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

## CONCLUSIONES

Los niveles de materia orgánica particulada fina del suelo encontrados en las cuatro situaciones vegetacionales variaron según el grado de perturbación antrópica de éstas.

La situación vegetacional menos perturbada P tuvo los mayores niveles de materia orgánica particulada en la fracción fina, manteniéndose esta tendencia en ambas profundidades 0-6 y 6-12 cm.

Los niveles de materia orgánica en la fracción gruesa no respondieron al grado de perturbación antrópica y tampoco se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, la situación vegetacional más perturbada E tuvo los más altos valores de materia orgánica particulada en la fracción gruesa en ambas profundidades, valores asociados al aporte de materia orgánica por plantas anuales de fácil descomposición.

Los niveles de carbono asociados a ácidos húmicos siguieron el grado de intervención antrópica para ambas profundidades (0-6 y 6-12 cm). PLQ obtuvo los más altos niveles y E los menores niveles siguiendo la siguiente tendencia (PLQ>P>QTCc>E), en ambas profundidades del suelo.

Los niveles de carbono asociado a ácidos fúlvicos variaron según el siguiente orden (QTCc>PLQ>P>E) en ambas profundidades, QTCc presenta los niveles más altos, asociado al mayor carácter antimicrobiano de la especie Colliguay el que retarda la descomposición del carbono orgánico.

La fracción fina y los ácidos húmicos reflejan los cambios en las situaciones vegetacionales según el grado de perturbación antrópica, y podrían ser considerados como indicadores sensibles de calidad en ecosistemas edáficos perturbados o degradados.

**BIBLIOGRAFÍA**

Aguilera, S., Borie, G., Rounet, J., Peirano, P. 1998. Evaluación de carbono orgánico y bioactividad en un andisol sometido a distintos manejos agronómicos. *Agricultura técnica (Chile)* 58:32-46.

Andreux, F., y Becerra, S. 1975. Fraccionamiento y caracterización del material húmico en algunos suelos de la orinoquia Colombia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (CIIA). 25(2):191-198.

Armado, J., Contreras, F., García, P. 2009. Fraccionamiento químico del carbono orgánico y su relación con la actividad microbológica, biomasa microbiana y cantidad de adn en suelos cacaoteros Venezolanos. *Revista Sociedad Química Perú.*7:44-53.

Armas, C. 2009. Caracterización físico – química y dinámica del carbón orgánico en los suelos de algunos ecosistemas de las islas canarias. Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna. 475p.

Aranda, V., Oyonarte, C.2005. Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment (Cabo de Gata-Nijar Natural Park, SE Spain).*Journal of Arid Environments* 62:63-647.

Bahamonde, V. 2012. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en formaciones esclerófilas de la zona central de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 48p.

Benintende, S., Benintende, M., David, D., Sterren, M., Saluzzio, M. 2012. Caracterización de indicadores biológicos y bioquímicos en alfisoles, molisoles y vertisoles de entre Ríos. *Ciencia del Suelo.* 30:23-29.

Bittner, M., Alarcón, J., Aqueveque, P., Becerra, J., Hernández, V., Hoeneisen, M., Silva, M. 2001. Estudio químico de especies de la familia euphorbiaceae en Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química.* 46(4):419-431.

Bot, A. y Benites, J. 2005. The importance of soil organic matter. Roma. FAO. Boletín sobre suelos N°80. 94p.

Campitelli, P., Velasco, M., Ceppi, S. 2006. Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from compost, soil and amended soil. *Talanta* 69:1234-1239.

Catalán, T., Lardies, M., Bozinovic, F. 2008. Food selection and nutritional ecology of woodlice in Central Chile. *Physiological Entomology.* 33:89-94.

- CONAF. 2008. Plan de manejo. Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. 175p.
- Cuevas, J. 2006. Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Temuco. 6(2):13-27.
- Curaqueo, G. 2010. Estudio de la glomalina y su relación con la agregación del suelo en un agroecosistema mediterráneo de la zona central de Chile. Tesis Doctor en ciencias de los Recursos Naturales, Universidad de la Frontera, Departamento de Ciencias Químicas. Temuco Chile. 118p.
- EULA. 2004. Establecimiento de un ordenamiento territorial orientado a la protección y uso sustentable del área del cordón de Cantillana. Informe Final. Centro EULA, Universidad de Concepción. 213pp.
- Froni, L. 1999. Procesos microbianos. Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto Argentina.
- Galantini, J., Rossel, R., Iglesias, J. 1994. Determinación de la materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. Laboratorio de Humus (LAHBIS), Departamento de Agronomía (UNS) Bahía Blanca, Argentina. 18:81-83.
- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución. Editorial Universitaria. Chile. 165p.
- Gatica, D. 2011. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración, temperatura y contenido de Agua de un suelo bajo bosque de peumo (*Criptomycaria alba* (Molina) Looser) y boldo (*Peumus boldus* Molina) en la Comuna de Alhué. Tesis Ingeniera Forestal Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Santiago Chile. 36pp.
- Garcés, N., Hernández, A., Losmel, C., Artega, M. 2009. El humus de suelos cubanos en ecosistemas tropicales conservados y la energía, *Terra Latinoamericana*, Universidad Autónoma Chapingo México 27(2):85-96.
- Huertas, J. 2005. Evaluación preliminar de ácidos húmicos por electroforesis zonal en Chinchiná-Caldas. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química. 23p.
- Jaramillo, D. 2011. Caracterización de la materia orgánica del horizonte superficial de un andisol hidromórfico del oriente de Antioqueño (Colombia). *Revista académica Colombia Ciencia*. 15(134):23-33.

- Jhonstom, A. 1991. Soil fertility and soil organic matter. *Advances in soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment*. The Royal Society of Chemistry. Cambridge. UK. 299-314p.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., Bello, S. 2006. Organic matter, importance, experiences and its role in agriculture. *IDESIA*. Chile 24:49-61.
- López, R., Gondar, R., Iglesias, A., Antelo, J., Fiol, S., Arce, F. 2004. Efecto del material orgánico y del horizonte del suelo sobre la estructura química de las sustancias húmicas extraídas en dos suelos ácidos de bosque de Galicia (NwSpain). *Edafología*. 11(2):197-206.
- Lorenz, K. y Lal, R. 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *Advances in Agronomy*. 88:35-66.
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C., Hernández, R. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Revista Facultad de Agronomía Venezuela*. 28:35-56.
- Martínez, E., Fuentes, J., Acevedo, E. 2008. Soil organic carbon and soil properties. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 8:68-96.
- Maturana, M., Acevedo, E. 2003. Cambios en la fertilidad del suelo asociado a cero labranza. *Laboratorio de relación suelo-agua-planta*. Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile 111p.
- Matus, F., y Marie, C. 2001. Un nuevo método para estimar la mineralización de la materia orgánica del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 1:25-33.
- McLauchlan, K. y Hobbie, S. 2004. Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Science Society of America Journal*. 65:116-125.
- Montenegro, G., Jordan, M. Aljaro, M. 1980. Interactions between Chilean matorral Shrubs and phytophagous insects. *Laboratorio de Botánica Instituto de Ciencias Biológicas Universidad Católica de Chile*. *Oecologia*. 45:346-349.
- Muñoz, C., Zagal, E., Ovalle, C. 2007. Influence of tree on soil organic matter in Mediterranean agroforestry systems: an example from the "Espinal" of central Chile. *European Journal of Soil Science*. 58:728-735.
- Muñoz, F. 2010. Efecto de la extracción de tierra de hojas en algunas propiedades químicas y biológicas del suelo bajo bosque esclerófilo en la Reserva Nacional Río Clarillo y en Laguna de Aculeo, Región Metropolitana, Chile. Tesis Ingeniero Forestal Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile. 45p.

- Odum, E. y Barrett, G. 2006. 5ta Edición. Fundamentos de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. 598 p.
- Oyanedel, Nelly. 1992. Métodos de análisis de suelos. Apuntes Docentes N°5. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agrarias y forestales, departamento de Silvicultura. 139p.
- Ramírez, C., Ellies, A., Mac Donald., R., Seguel, O. 2003. Cambios en la flora y la materia orgánica desde bosques nativos a praderas antrópicas en suelos volcánicos de la XI región de Chile. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. Valdivia. 3(2):1-12.
- Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R., Ceppi, S. 2011. Chemical recovery of a degraded soil by vermicompost utilization. Avances en Ciencias e Ingeniería Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, departamento de Recursos Naturales. 2(2):83-95.
- Ruipérez, C., Calafate, R., Mulas, R., Lafuente, F., López, O., Turrión, M. 2004. El fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica como índice de su comportamiento y evolución de los suelos. Cuadernos de la sociedad española de ciencias forestales. Actas de la I Reunión de ecología, ecofisiología y suelos forestales. Palencia, España. 20:221-226.
- Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Serie Actas INIA N°34. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Salazar, H., Alvarado, A., Bornemizna, E. 1975. Estudio de la determinación de la materia orgánica en seis suelos de Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 25(2):174-176.
- Sánchez, B., Ruiz, M., Ríos, M. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado de Aragua. Agronomía Tropical. 55(4):507-543.
- Santibáñez, F y Uribe, J.M. 1993. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones VI y VII. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Laboratorio de Agroclimatología Santiago, Chile. 66p.
- Sollins, P., Glassman, C., Paul, E., Swanston, C., Lajtha, K., Heil, J, Elliott, E. 1999. Soil carbon and nitrogen. Pools and fractions. Standard soils method. Ecological Research. Oxford, University Press. USA. 462p.
- Stevenson, J. 1982. Humus. Chemistry genesis composition reactions. Wiley New York.

- Tapia, D. 2005. Propuesta de intervenciones silviculturales con fines de rehabilitación en la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Tesis Ingeniero Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Santiago, Chile. 86p.
- Velasco, F. 1998. Estudio comparativo de algunos parámetros edáficos en las etapas subseriales de la vegetación de la Sierra de San Vicente (Toledo). *Ecología Iona* Madrid. 2:89-97.
- Venegas, P. 2008. Características de la materia orgánica de suelos de praderas naturales y cultivadas en la IX región. Tesis Químico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago, Chile. 58p.
- Zabala, M. 2003. Evaluación agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de lombriz. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Ciencias Vegetales. Santiago, Chile. 2003. 52p.
- Zagal, E. y Córdova, C. 2005. Soil organic matter quality indicators in a cultivated andisol. *Agricultura Técnica*. 65:186-197.
- Zagal, E., Rodríguez, N., Vidal, I., Flores, A. 2002. Soil light organic matter fraction of a volcanic soil under different agronomic management as an indicator of changes in labile organic matter. *Agricultura Técnica (Chile)* 62(2):284-296.

## APÉNDICE I

### Estadísticos materia orgánica particulada, ácido húmico y ácido fúlvico.

Valores promedio, desviación estándar, error estándar de materia orgánica particulada, carbono ácido húmico, carbono ácido fúlvico de cada una de las situaciones vegetacionales (P-PLQ-QTCc-E) en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha.

**Cuadro 1. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de Materia Orgánica Particulada en fracción gruesa en el rango de profundidad de 0-6 cm.**

MOP (%)	Peumo	PLQ	QTCc	Espino
<b>Profundidad</b>	0-6	0-6	0-6	0-6
<b>Promedio</b>	1,29	1,38	1,20	2,39
<b>Desv. Estándar</b>	0,59	0,62	0,33	1,92
<b>Error Desviación</b>	±0,34	±0,36	±0,19	±1,11

MOP= Materia Orgánica Particulada, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo- Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 2. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de Materia Orgánica Particulada en fracción gruesa en el rango de profundidad de 6-12 cm.**

MOP (%)	Peumo	PLQ	QTCc	Espino
<b>Profundidad</b>	6-12	6-12	6-12	6-12
<b>Promedio</b>	1,84	1,42	0,99	2,16
<b>Desv. Estándar</b>	0,60	0,62	0,34	1,92
<b>Error Desviación</b>	±1,18	±0,43	±0,24	±0,64

MOP= Materia Orgánica Particulada, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc = Quillay-Tevo- Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 3. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de Materia orgánica particulada en fracción fina en el rango de profundidad de 0 -6 cm.**

MOP (%)	Peumo	PLQ	QTCc	Espino
<b>Profundidad</b>	0-6	0-6	0-6	0-6
<b>Promedio</b>	13,75	13,59	11,58	6,43
<b>Desv. Estándar</b>	0,59	3,64	2,85	2,42
<b>Error Desviación</b>	±0,34	±2,09	±1,64	±1,39

MOP= Materia Orgánica Particulada, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 4. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de Materia Orgánica Particulada en fracción fina en el rango de profundidad de 6–12 cm.**

<b>MOP (%)</b>	<b>Peumo</b>	<b>PLQ</b>	<b>QTCc</b>	<b>Espino</b>
<b>Profundidad</b>	6-12	6-12	6-12	6-12
<b>Promedio</b>	13,17	11,6	11,28	6,97
<b>Desv. Estándar</b>	0,34	4,04	1,77	1,21
<b>Error Desviación</b>	±0,19	±2,33	±1,01	±0,70

MOP= Materia Orgánica Particulada, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 5. Valores promedio, desviación estándar, error estándar CAH en el rango de profundidad de 0–6 cm.**

<b>C A H</b>	<b>Peumo</b>	<b>PLQ</b>	<b>QTCc</b>	<b>Espino</b>
<b>Profundidad</b>	0-6	0-6	0-6	0-6
<b>Promedio</b>	2,66	2,74	2,45	0,81
<b>Desv. Estándar</b>	0,12	0,54	0,29	0,42
<b>Error Desviación</b>	±0,07	±0,31	±0,16	±0,24

CAH= Carbono Ácido Húmico, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 6. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de CAH en el rango de profundidad de 6–12 cm.**

<b>C A H</b>	<b>Peumo</b>	<b>PLQ</b>	<b>QTCc</b>	<b>Espino</b>
<b>Profundidad</b>	6-12	6-12	6-12	6-12
<b>Promedio</b>	1,81	2,07	1,02	0,53
<b>Desv. Estándar</b>	0,42	0,67	0,67	0,15
<b>Error Desviación</b>	±0,24	±0,38	±0,38	±0,08

CAH= Carbono Ácido Húmico, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 7. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de CAF en el rango de profundidad de 0–6 cm.**

<b>C A F</b>	<b>Peumo</b>	<b>PLQ</b>	<b>QTCc</b>	<b>Espino</b>
<b>Profundidad</b>	0-6	0-6	0-6	0-6
<b>Promedio</b>	1,38	1,42	1,70	0,74
<b>Desv. Estándar</b>	0,30	0,24	0,24	0,31
<b>Error Desviación</b>	±0,17	±0,14	±0,13	±0,17

CAF= Carbono Ácido Fúlvico, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura Colliguay.

**Cuadro 8. Valores promedio, desviación estándar, error estándar de CAF en el rango de profundidad de 6–12 cm.**

<b>C A F</b>	<b>Peumo</b>	<b>PLQ</b>	<b>QTCc</b>	<b>Espino</b>
<b>Profundidad</b>	6-12	6-12	6-12	6-12
<b>Promedio</b>	0,88	0,98	0,97	0,41
<b>Desv. Estándar</b>	0,08	0,22	0,10	0,25
<b>Error Desviación</b>	±0,04	±0,12	±0,05	±0,14

CAF= Carbono Ácido Fúlvico, PLQ= Peumo-Litre-Quillay, QTCc= Quillay-Tevo- Colliguay bajo cobertura Colliguay.

## APÉNDICE II

**Cuadro 9. Situaciones Vegetacionales, valores promedios de granulometría arena (a), limo (L), arcilla (A) y clase textural en ambas profundidades (0-6 y 6-12 cm).**

<b>Situación V.</b>	<b>P (cm.)</b>	<b>Arena % (a)</b>	<b>Limo % (L)</b>	<b>Arcilla % (A)</b>	<b>Clase Textural</b>
<b>Peumo</b>	0-6	69,50	21,81	8,69	Franco arenoso
<b>Peumo</b>	6-12	65,00	24,50	10,50	Franco arenoso
<b>PLQ</b>	0-6	64,23	26,52	9,25	Franco arenoso
<b>PLQ</b>	6-12	57,81	30,10	12,09	Franco arenoso
<b>QTCc</b>	0-6	47,46	35,82	16,72	Franco
<b>QTCc</b>	6-12	49,33	33,13	19,45	Franco
<b>Espino</b>	0-6	40,01	41,11	18,88	Franco Arcilloso
<b>Espino</b>	6-12	35,28	43,29	21,43	Franco Arcilloso

P: Profundidad. Fuente Informe Fondecyt 1090283.

## APÉNDICE III

**Cuadro 11. Valores promedio de relación de humificación (CAH/CAF) en las situaciones vegetacionales en los rangos de profundidad 0--12 cm.**

<b>Situación Vegetacional</b>	<b>Profundidad (cm.)</b>	<b>Promedio CAH</b>	<b>Promedio CAF</b>	<b>Promedio CAH/CAF</b>
<b>Peumo</b>	0-12	4,5	2,3	1,95
<b>PLQ</b>	0-12	4,81	2,39	2,01
<b>QTCc</b>	0-12	2,97	2,68	1,10
<b>Espino</b>	0-12	1,34	1,15	1,16

CAH: Carbono Ácido húmico, CAF: Carbono ácido fúlvico, PLQ: Peumo –Litre –Quillay, QTCc: Quillay-Tevo-Colliguay bajo cobertura de Colliguay. Fuente Informe Fondecyt 1090283.

## ANEXO I

**Características Físicas y Morfológicas de los pedones en las distintas situaciones vegetacionales.**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>P (Parcela 7) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 22 A <sub>1</sub>	7,5R 2,5/1 en húmedo; franco arcillo arenoso; ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; bloques subangulares moderados gruesos; raíces medias abundantes; poros finos abundantes; presencia de micas; límite lineal claro.
22 – 43 A <sub>2</sub>	7,5YR 2,5/1 en húmedo; franco arenoso; ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; bloques subangulares moderados gruesos; raíces medias abundantes; poros medios abundantes; presencia de micas; límite lineal claro.
43 – 61 A <sub>3</sub>	10YR 2/1 en húmedo; areno franco; ligeramente adhesivo y ligeramente plástico; bloques subangulares moderados débiles; raíces medias comunes; poros medios abundantes; presencia de micas.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>P (Parcela 8) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 10 A <sub>1</sub>	5YR 2,5/2 en húmedo; franco; ligeramente plástico y no adhesivo; bloques subangulares débiles medios; raíces finas abundantes y medias comunes; poros finos abundantes; límite lineal claro.
10 – 28 A <sub>2</sub>	5YR 2,5/2 en húmedo; franco arenoso; ligeramente plástico y no adhesivo; bloques subangulares gruesos moderados; raíces medias abundantes; poros medios comunes; límite lineal claro.
28 – 37 A <sub>3</sub>	7,5YR 3/2 en húmedo; franco arcillo arenoso; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; bloques subangulares moderados medios y gruesos; raíces medias pocas; poros finos comunes.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>P (Parcela 27) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 8 A	10YR 2/2 en húmedo; franco arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares débiles medios y granular débiles finos; raíces finas y medias abundantes; poros finos abundantes; limite lineal claro.
8 – 28 AC <sub>1</sub>	7,5YR 3/3 en húmedo; areno franco; no plástico y no adhesivo; bloques subangulares débiles finos; raíces finas comunes; poros medios comunes; pedregosidad 20%; limite lineal claro.
28 – 55 AC <sub>2</sub>	7,5YR 3/2 en húmedo; areno franco; no plástico y no adhesivo; sin grado estructural (grano simple); raíces medias pocas; poros medios abundantes; pedregosidad 40 %.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>PLQ (Parcela 10) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 4 A <sub>1</sub>	10YR 3/3 en húmedo; franco arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares fuertes gruesos y granular moderado medio; raíces medias abundantes; poros medios abundantes; limite lineal claro.
4 - 30 A <sub>2</sub>	10YR 3/3 en húmedo; franco arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces medias y gruesas abundantes; poros medios abundantes y gruesos pocos; limite lineal claro.
30 – 53 AC	10YR 3/3 en húmedo; franco arenoso; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; raíces medias comunes; poros medios comunes; pedregosidad 50%.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>PLQ (Parcela 14) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 5 A <sub>1</sub>	7,5YR 2,5/3 en húmedo; franco arcillo arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados gruesos; raíces medias abundantes; poros medios y gruesos abundantes; limite lineal claro.
5 - 28 A <sub>2</sub>	5YR 3/3 en húmedo; franco arcillo arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados gruesos; raíces gruesas abundantes; poros medios y gruesos abundantes; limite lineal claro.
28 – 45 AC	7,5YR 3/4 en húmedo; areno franco; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados finos; raíces medias y gruesas abundantes; poros medios abundantes y gruesos comunes; pedregosidad 50%.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>PLQ (Parcela 16) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 9 A <sub>1</sub>	5YR 3/2 en húmedo; franco limoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares débiles medios y granular débil medio; raíces finas comunes y medias abundantes; poros medios abundantes; limite lineal claro.
9 – 27 A <sub>2</sub>	5YR 3/2 en húmedo; franco arcillo arenoso; moderadamente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces medias abundantes y gruesas pocas; poros medios abundantes; limite lineal claro.
27 – 43 AC	5YR 3/3 en húmedo; franco arcillo arenoso; moderadamente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares medios moderados; raíces medias abundantes y muy gruesas pocas; poros medios comunes y finos abundantes; pedregosidad 20%; límite lineal claro.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>QTC (Parcela 4) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 19 A	7,5YR 3/2 en húmedo; franco; muy plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares fuertes medios y gruesos; raíces medias abundantes; poros finos pocos; limite lineal claro.
19 -34 AB	7,5YR 3/2 en húmedo; arcilloso; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares fuertes medios y gruesos; raíces medias abundantes y gruesas pocas; poros finos pocos; pedregosidad 50%; limite lineal claro.
34 – 48 AC	7,5YR 3/2 en húmedo; arcilloso; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares fuertes medios; raíces medias pocas; poros finos pocos; pedregosidad 60%.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>QTC (Parcela 6) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 22 A <sub>1</sub>	5YR 3/4 en húmedo; franco arcillo limoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces finas comunes; poros medios abundantes; presencia de micas; limite lineal claro.
22 – 39 A <sub>2</sub>	7,5YR 4/4 en húmedo; franco arcillo limoso; moderadamente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces medias comunes; poros medios comunes; presencia de micas; limite lineal claro.
39 – 60 A <sub>3</sub>	7,5YR 4/6 en húmedo; franco arcillo arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces gruesas comunes; poros gruesos comunes; presencia de micas.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>QTC (Parcela 11) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 21 A <sub>1</sub>	7,5YR 3/2 en húmedo; franco arenoso; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; bloques subangulares débiles finos y granular débil medio; raíces finas abundantes; poros finos abundantes; presencia de carbones; limite lineal claro.
21 – 38 A <sub>2</sub>	5YR 3/3 en húmedo; franco arcillo arenoso; moderadamente plástico y moderadamente adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces gruesas comunes; poros medios abundantes; presencia de carbones; limite lineal claro.
38 – 57 BC	5YR 3/3 en húmedo; arcillo arenoso; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares fuertes medios; raíces medias comunes; poros medios comunes; presencia de carbones; iluviación de arcillas; pedregosidad 50%.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>E (Parcela 1) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 26 Bt	2,5YR 3/4 en húmedo; arcilloso con grava; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares medios y gruesos fuertes; raíces finas comunes; poros finos comunes; iluviación de arcillas; limite líneas difuso.
26 – 35 Bt/C	2,5YR 3/4 en húmedo; arcilloso sin gravas; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares moderados medios; raíces finas pocas; poros finos comunes; iluviación de arcillas; pedregosidad 50%.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>E (Parcela 2) Características Físicas y Morfológicas del Pedón:</b>
0 – 22 Bt <sub>1</sub>	2,5YR 3/4 en húmedo; arcilloso con gravas; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares medios y gruesos fuertes; raíces finas pocas; poros finos pocos; iluviación de arcillas; limite lineal difuso.
22 – 31 Bt <sub>2</sub>	2,5YR 3/6 en húmedo; arcilloso sin gravas; muy plástico y muy adhesivo; sin estructura (masivo); raíces finas pocas; poros finos pocos; iluviación de arcillas.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>E (Parcela 3) Características Físicas y Morfológicas del Pedón</b>
0 – 30 Bw	5YR 3/3 en húmedo; arcilloso; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares medios y gruesos fuertes; raíces finas pocas; poros finos pocos; pedregosidad 40%; limite lineal claro.
30 – 49 BC	5YR 3/3 en húmedo; arcilloso; muy plástico y muy adhesivo; bloques subangulares medios y gruesos fuertes; raíces finas pocas; poros finos pocos; pedregosidad 60%.

Fuente: Bahamonde, (2013).

## ANEXO II

**Cuadro 12. Valores de celulosa y lignina por especie.**

	<b>E</b>	<b>L</b>	<b>C</b>	<b>Q</b>
<b>Celulosa (%)</b>	<b>15±0,09</b>	<b>21,60 ± 1,83</b>	<b>12,69 ± 2,40</b>	<b>21,95 ± 1,70</b>
<b>Lignina (%)</b>	<b>28± 0,29</b>	<b>47,06 ± 3,10</b>	<b>17,83 ± 1,21</b>	<b>37,07 ± 2,07</b>

**E:** (*Acacia caven* (Molina) Molina (Espino), **L:** *Lithraea caustica* (Molina) Hook & Arn. (Litre), **C:** *Colliguaja odorífera* Molina (Colliguay) y **Q:** *Quillaja saponaria* Molina. Fuente: Catalán *et al.*, 2008.

## ANEXO III

**Cuadro 13. Composición química promedio de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.**

	C (g/kg.)	H (g/kg.)	N (g/kg.)	S (g/kg.)	O (g/kg.)	COOH (mol/kg.)	OH-FENOL (mol/kg.)
AH	530-570	30-65	8-33	1-15	320-385	1,5-6,0	2,1-5,7
A F	407-506	38-70	9-33	1-36	390-500	5,2-11,2	0,3-5,7

AH: Ácido húmico, AF: Ácido fúlvico, C: carbono, H: hidrógeno, N: Nitrógeno, O: Oxígeno, COOH: carboxilo, OH-FENOL: Fenol. Fuente (Stevenson, 1982).

