



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA**

**EFFECTO DE LA EXTRACCIÓN DE HOJARASCA EN LA
RESPIRACIÓN, TEMPERATURA Y CONTENIDO DE AGUA, DE UN
SUELO BAJO UN BOSQUE DE PEUMO (*Cryptocarya alba* (Molina)
Looser) Y BOLDO (*Peumus boldus* Molina) EN LA COMUNA DE
ALHUÉ**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniero Forestal

DANIELA ANDREA GATICA GATICA

Prof. Guías: Dr. Juan Pablo Fuentes Espoz. Ingeniero Forestal

Dr. Horacio Bown Intveen. Ingeniero Forestal

Santiago, Chile

2010

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

**EFEECTO DE LA EXTRACCIÓN DE HOJARASCA EN LA
RESPIRACIÓN, TEMPERATURA Y CONTENIDO DE AGUA, DE UN
SUELO BAJO UN BOSQUE DE PEUMO (*Cryptocarya alba* (Molina)
Looser) Y BOLDO (*Peumus boldus* Molina) EN LA COMUNA DE
ALHUÉ**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

DANIELA ANDREA GATICA GATICA

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Dr. Juan Pablo Fuentes Espoz	7,0
Prof. Guía Dr. Horacio Bown Intveen	7,0
Prof. Consejero Dr. Juan Caldentey Pont	7,0
Prof. Consejero Dr. Jorge Pérez Quezada	7,0

DEDICATORIA

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi profesor guía Dr. Juan Pablo Fuentes por darme la oportunidad de realizar esta memoria, por orientarme y sobre todo por su paciencia.

Al Dr. Horacio Bown por ayudarme en la toma de datos y en la parte estadística de la memoria.

Al Dr. Jorge Pérez y Dr. Juan Caldentey por sus acertadas sugerencias.

Al proyecto FONDECYT N° 1090283 que financió esta memoria.

Al profesor Juan Barrios por ser un excelente jefe y por darme la oportunidad de realizar las ayudantías.

A la Sra. Cristina Sáez por su compañía en el laboratorio.

A mis compañeros Francisca Hernández, Abraham Albornoz y Arnoldo Toledo que en muchas ocasiones me ayudaron, orientaron y me dieron ánimo para seguir adelante.

A Rocío Muñoz que me ayudó en la toma de datos, me acompañó en muchos momentos y que ha sido una gran compañera en estos últimos años.

A Pía Vázquez Ossa por ser mi gran amiga y mi apoyo durante toda la carrera, por alentarme durante todo este tiempo, por tenerme mucha paciencia y por haberse bancado mi mal humor en más de una ocasión.

A la familia Vásquez Ossa, principalmente a Srta. Lisset Ossa por su preocupación y por haberme acogido en innumerables ocasiones en su hogar.

A la Pandilla que me han apoyado en muchas etapas de mi vida, sobre todo a Ximena Barrera, Loreto Medina y Carolina Acevedo.

Por último, quiero agradecer a mi familia, especialmente a mis padres por apoyarme siempre incondicionalmente, a mis hermanos por tolerarme y alegrarme el día. A mis abuelos maternos por su eterno cariño y preocupación, y a mi tío Guillermo por ayudarme y escucharme.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIAL Y MÉTODO	5
2.1 Descripción del área de estudio	5
2.2 Instalación del ensayo	6
2.3 Mediciones	7
2.4 Análisis estadístico	8
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
3.1 Efecto de la extracción de la hojarasca en la respiración del suelo	10
3.2 Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el suelo	13
3.3 Efecto de la extracción de la hojarasca en la temperatura del suelo a distintas profundidades	14
3.3.1 Temperatura superficial del suelo.....	14
3.3.2 Temperatura del suelo a 6 cm y 10,5 cm de profundidad.....	17
3.4 Relación entre la Respiración del Suelo, Contenido de Agua y la Temperatura del Suelo	18
4. CONCLUSIONES	22
5. BIBLIOGRAFÍA	23
APÉNDICE 1	27
APÉNDICE 2	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores promedio de la respiración del suelo ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y el efecto de la extracción de hojarasca para cada día de medición.....	11
Cuadro 2. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el suelo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) en cada día de medición.....	14
Cuadro 3. Efecto de la extracción de la hojarasca en la temperatura del suelo ($^{\circ}\text{C}$) a distintas profundidades	15
Cuadro 4. Correlación de Pearson (r) entre la respiración del suelo, la temperatura y el contenido de agua en el suelo según tratamiento.	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Hacienda Ecológica Los Cobres de Loncha en la Comuna de Alhué en la Región Metropolitana.....	6
Figura 2. Diseño del ensayo para comparar el efecto de la extracción de la hojarasca sobre la respiración del suelo, temperatura y contenido de agua en el suelo.....	7
Figura 3. Instrumentos utilizados en las mediciones: (a) Analizador infrarrojo, (b) Sensor de humedad, (c) Termómetro digital, (d) Termómetro infrarrojo.....	8
Figura 4. (a) Variación temporal de la tasa de respiración del suelo (b) Precipitación registrada durante el ensayo (c) Variación temporal de la humedad relativa del aire (d) Variación temporal del contenido de agua en el suelo para los tratamientos CE y SE.....	12
Figura 5. Variación temporal de la temperatura (a) aire, (b) superficial del suelo, (c) del suelo a 6 cm de profundidad, (d) del suelo a 10,5 cm de profundidad para los tratamientos CE y SE.....	16

RESUMEN

La extracción de la hojarasca (capas Oi, Oe+Oa) ha sido una práctica habitual en la zona central del país que ha causado la degradación del suelo, y como consecuencia de esto, la pérdida de materia orgánica.

En la actualidad se desconoce el impacto causado por esta actividad en los parámetros biofísicos del suelo, por este motivo, el propósito de este estudio fue evaluar el efecto de la extracción de la hojarasca en la respiración del suelo, el contenido de agua y la temperatura del suelo en un bosque esclerófilo conformado principalmente por boldo y peumo en la Comuna de Alhué en la Región Metropolitana.

Se instalaron tres parcelas de 100 m², en las que en cada una se procedió a la extracción de la hojarasca (Tratamiento CE) en un 50% de la superficie dejando la restante superficie de la parcela con la hojarasca inalterada (Tratamiento SE). En cada tratamiento se determinó la tasa de respiración, el contenido de agua volumétrico y la temperatura del suelo, la humedad relativa y la temperatura del aire. Las mediciones se realizaron cada cuatro días aproximadamente en un período de 20 días durante el mes de Octubre de 2009.

La extracción de la hojarasca disminuyó la tasa de respiración del suelo a partir del cuarto día hasta el término del ensayo, lo cual podría atribuirse a una disminución en la cantidad de microorganismos del suelo responsables de la producción de CO₂ y a una disminución en la cantidad y calidad del sustrato disponible para el metabolismo de las comunidades microbianas.

La extracción de la hojarasca redujo significativamente a la temperatura superficial durante el ensayo, pero a mayor profundidad el efecto fue menos notorio y más tardío. En contraposición, la extracción de hojarasca no afectó significativamente al contenido de agua en el suelo.

Cuando la hojarasca no fue removida del suelo se obtuvo una débil correlación entre la respiración del suelo y la temperatura superficial, y con las interacciones temperatura superficial por el contenido de agua y temperatura a los 6 cm de profundidad por el contenido de agua. Por lo anterior, las diferencias en la respiración del suelo durante el ensayo fueron explicadas de mejor manera por la extracción de la hojarasca en sí, pues en ella se produce un flujo de CO₂ generado por los microorganismos que metabolizan los compuesto lábiles presentes, como por la actividad de la fauna y las raíces del suelo existentes en este sustrato.

Palabras claves: Bosque Esclerófilo, Contenido de agua en el suelo, Extracción de Hojarasca, Respiración del suelo, Temperatura del suelo.

ABSTRACT

Soil litter extraction (layers Oi, Oe+Oa) is a common practice in Central Chile causing soil degradation and organic matter loss.

The impact of soil litter extraction on soil biophysical parameters is currently unknown. As a consequence the aim of the study was to assess the effect of litter extraction on soil respiration, volumetric water content and soil temperature in a sclerophyll ecosystem made out of boldo and peumo in Alhué in the Metropolitan region in Chile.

Three 100 m² plots were installed in the study area, removing litter in one half of the plots (Treatment CE) leaving the other half with the litter unaltered (Treatment SE). In each Split-plot, soil respiration, gravimetric water content and soil temperature was determined. Measurements were carried out every four days approximately for 20 days in October 2009.

Soil litter extraction significantly reduced the soil respiration rate from the fourth day until the end of the study. The reduction of microbial populations as well as the decrease in the amount and quality of readily-available organic matter can be the cause of this alteration. In addition, soil litter extraction significantly affected the soil surface temperature, but this effect was less evident at deeper depths. Soil water content was not significantly affected by the extraction of soil litter.

When the soil litter was not removed, the correlation between soil respiration and the predicted variables was weak (i.e. surface soil temperature, and with the interactions surface temperature x soil water content, or soil temperature at 6 cm depth x soil water content). Therefore, soil respiration differences were mainly explained by the extraction of soil litter layers.

Key Words: Sclerophyll forest, Soil litter extraction, Soil respiration, Soil temperature, Soil water content.

1. INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas terrestres, la respiración del suelo ha sido reconocida como la principal fuente del flujo de carbono proveniente de la superficie, y uno de los componentes más importantes dentro del ciclo del carbono. Adicionalmente, en los suelos forestales ocurre cerca del 70% del intercambio de CO₂ entre el suelo y la atmósfera, siendo la fuente más grande de carbono a nivel mundial (Raich y Schlesinger, 1992; Raich y Potter, 1995).

En general, las estimaciones del aporte del CO₂ desde este tipo de ecosistemas a la atmósfera han sido valiosas, pero hasta el momento hay una considerable incertidumbre, pues, las magnitudes y las variaciones en el flujo de CO₂, entre y dentro de los ecosistemas, con y sin disturbios son en gran medida desconocidas (Vose y Bolstad, 2007).

La respiración del suelo es definida como un proceso ecosistémico en el cual se libera dióxido de carbono del suelo a la atmósfera como resultado de la combinación entre la respiración autótrofa de las raíces y los microorganismos de la rizósfera; y de la respiración heterótrofa proveniente de la actividad microbiana y de la microfauna del suelo, los cuales se encuentran asociados a la descomposición de la hojarasca y a la mineralización de la materia orgánica (Hanson *et al.*, 2000).

La contribución de autótrofos y heterótrofos a la respiración del suelo varía a una escala espacial y temporal por causa de los factores ambientales, dificultando la estimación de estas proporciones (Hanson *et al.*, 2000). No obstante, investigaciones realizadas en bosques templados indican que entre el 50 y 60% de la respiración del suelo deriva de la actividad metabólica de las raíces y las micorrizas asociadas, mientras que el 40 y 55% proviene de la respiración de las comunidades microbianas que descomponen la materia orgánica y la hojarasca (Epron *et al.*, 1999; Hanson *et al.*, 2000; Rey *et al.*, 2002).

La tasa a la cual el CO₂ se mueve desde el suelo a la atmósfera está controlada por la tasa de producción de CO₂ en el suelo, la fuerza del gradiente de concentración entre el suelo y la atmósfera y las propiedades del suelo como el tamaño del poro, la temperatura del aire, y la velocidad del viento que influye en el movimiento del CO₂ cerca de la superficie del suelo (Raich y Schlesinger, 1992).

Muchos estudios indican que la respiración del suelo muestra una alta variación espacial y temporal (Rey *et al.*, 2002; Epron *et al.*, 2004). Las grandes variaciones espaciales son explicadas tanto por factores bióticos como abióticos. Dentro de los factores bióticos están involucradas la actividad de las raíces (Hanson *et al.*, 2000), cantidad y calidad de la materia orgánica (Epron *et al.*, 2004), biomasa microbiana (Buchmann, 2000) o características vegetacionales (Khomik *et al.*, 2006). En cambio, entre los factores abióticos relacionados con la heterogeneidad de la respiración del suelo están las concentraciones de nitrógeno (Madritch y Hunter, 2003), la capacidad de intercambio catiónico, porosidad del suelo (Jabro *et al.*, 2008), pH (Borken *et al.*, 2002) y topografía (Sotta *et al.*, 2006).

Las variaciones estacionales de la respiración del suelo dentro de un sitio son causadas por variables que causan cambios estacionales en el microclima del suelo (Raich y Tufekcioglu, 2000). Han *et al.* (2007) afirman que las variaciones estacionales en la respiración del suelo generalmente están asociadas a cambios en la temperatura del suelo y en el contenido de

agua en el suelo, y su interacción afecta la productividad de los ecosistemas terrestres y la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo (Wiseman y Seiler, 2004). También, existe una correlación positiva entre la respiración del suelo, la precipitación y la productividad primaria neta en diferentes tipos de vegetación (Raich y Schlesinger, 1992).

En ecosistemas mediterráneos existe una fuerte correlación entre la respiración, la temperatura y el contenido de agua del suelo a causa de la fenología de las raíces y la productividad de biomasa (Ryan y Law, 2005). Sin embargo, algunas de las investigaciones realizadas en este tipo de ecosistemas indican que el mejor estimador de la respiración es el contenido de agua en el suelo (Reichstein *et al.*, 2002), mientras que en otras se comprueba que la temperatura del suelo es el mejor predictor (Pavelka *et al.*, 2007) o que temperatura por si sola es insuficiente para explicar la respiración del suelo (Davidson *et al.*, 2000 y Rey *et al.*, 2002).

Jabro *et al.* (2008) menciona que el incremento en la temperatura del suelo genera la aceleración de la descomposición de la materia orgánica, oxidación, actividad microbiana y de las raíces y los procesos de mineralización de carbono, lo cual aumenta la emisión de CO₂ a partir del suelo, causando un agotamiento del carbono almacenado.

A pesar de que se ha encontrado una relación positiva entre la temperatura y la respiración del suelo, esta relación podría ser muy débil o incluso negativa cuando se disminuye el contenido de humedad, sugiriendo que el impacto del aumento de la temperatura sobre la tasa de respiración podría ser significativamente restringida por el contenido de agua (Ma *et al.*, 2005). Además, Rey *et al.* (2002) señalan que la respiración del suelo y la temperatura de éste están correlacionadas durante la primavera, cuando el contenido de humedad volumétrico supera el 20%, sin embargo, bajo este valor, no existe una correlación entre la temperatura y la respiración siendo el contenido de agua un buen predictor de la respiración.

En cambio, un alto contenido de agua en el suelo entrega mejores condiciones para la actividad y hábitat microbiano, aumentando el consumo de oxígeno, y la producción y emisión de CO₂ desde la superficie (Jabro *et al.*, 2008). Sin embargo, cuando el contenido de agua en el suelo es muy alto, la respiración podría disminuir fuertemente, porque el suministro de oxígeno podría no ser suficiente para los microorganismos y la permeabilidad sería pobre para la liberación del CO₂ desde el interior del suelo (Wenjie *et al.*, 2008).

El contenido de agua en el suelo puede cambiar muy rápidamente durante los eventos de precipitación, o cuando la evapotranspiración es alta, pues la infiltración del agua desplaza los gases desde los poros del suelo resultando una liberación de CO₂, pudiendo estimular tanto la actividad microbiana del suelo, como la actividad respiratoria de las raíces (Smart y Peñuelas, 2005).

Además, cantidades significativas de CO₂ son liberadas desde el suelo tras eventos de precipitación, ya sea por el desplazamiento del gas a través del poro o por la fuerte estimulación de la actividad biológica, por tanto se debe evitar dejar de lado tales flujos de CO₂, pues se puede provocar una subestimación de la respiración del suelo (Liu *et al.*, 2002).

Por otra parte, la hojarasca representa una importante vía para el carbono entre la vegetación y el suelo, por tanto lo más probable es que cambios ocasionados en la producción de hojarasca tenga consecuencias en los procesos bajo el suelo (Sayer *et al.*, 2007). Adicionalmente, Raich y Nadelhoffer (1989) indican que la respiración del suelo en los ecosistemas forestales está fuertemente correlacionada con la presencia de hojarasca. De esta manera, la manipulación de esta capa a nivel local tiene grandes efectos en el flujo de CO₂, pues una parte importante de éste se produce en la superficie de la hojarasca, ya que en ella ocurren los procesos de descomposición, y donde también es encontrada una gran proporción de raíces finas (Reynolds y Hunter, 2001).

La hojarasca, además obstaculiza el paso de los rayos del sol, regulando la temperatura del suelo y manteniendo su humedad. Además, Wenjie *et al.* (2008) señala que esta capa actúa como un buffer para la conservación y distribución del agua en el suelo, por este motivo, si se retira la hojarasca, se quita la capa protectora generando una liberación del agua del suelo, y por tanto, se disminuye el contenido de humedad del éste. También menciona que sirve como amortiguador de la temperatura, pues cuando se encuentra presente la hojarasca, la variación de la temperatura del suelo es menor que cuando está ausente.

Saiz *et al.* (2007) estima que el aporte de las capas O_i (hojarasca) y O_a (humus) en una plantación de *Picea sitchensis* (Bongard) Carrière, a la respiración del suelo, es cercana al 33%, pues estas capas alteran la difusión del CO₂ y su extracción tiene un impacto negativo sobre el flujo de CO₂. La reducción de la respiración del suelo luego de remover la hojarasca se debe a que ésta entrega una de las fuentes más importantes de carbono para la respiración del suelo, y también puede contribuir a un microclima que favorece a los descomponedores (Reynolds y Hunter, 2001 y Wenjie *et al.*, 2008).

Wenjie *et al.* (2008) encontró que la extracción de la hojarasca en una plantación de *Larix gmelinii* (Ruprecht) Kuzen aumenta levemente la temperatura del suelo en el verano, causando un aumento en el flujo de CO₂. Sin embargo, Borken *et al.* (2002) determinaron que el efecto que causa la exclusión de la hojarasca en una plantación de *Picea abies* (Linnaeus) Karsten sobre la disminución de la respiración del suelo en el horizonte O es explicada de mejor manera por el contenido de humedad.

Adicionalmente, Rey *et al.* (2002) señalan que cualquier cambio en las entradas de hojarasca y detritus en el suelo que genere alguna modificación en la temperatura y contenido de humedad probablemente afecte las tasas de respiración de suelo, e influya en la contribución de los diferentes componentes al flujo total de CO₂ a partir del suelo.

Según Raich y Tufekcioglu (2000) la respiración del suelo es influenciada en algunos casos por la composición de la hojarasca, pues las tasas de respiración en suelos cubiertos por coníferas son un 10% más bajas que en los cubiertos por latifoliadas. Además, mientras mayor sea la diversidad de la hojarasca, mayor es la respiración del suelo, pues entrega un sustrato más diverso a los distintos caminos metabólicos (Madritch y Hunter, 2003).

De acuerdo a Sulzman *et al.* (2005), el espesor de la capa de hojarasca también influye en la respiración del suelo. Por ejemplo, al aplicar el doble de hojarasca en la superficie del suelo de una plantación de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco, la respiración del suelo

aumenta en 187%, pues se agrega una nueva fuente de energía lábil que sostiene la descomposición de material recalcitrante del suelo.

Es importante separar la contribución de la hojarasca a la respiración del aporte realizado por el suelo mineral, pues la hojarasca contiene más carbono lábil. Además esta capa responde de forma diferente a los factores abióticos, y es afectada de mayor manera por los cambios climáticos (Borken *et al.*, 2002). Por este motivo, Epron *et al.* (2004) sugieren que la cantidad de hojarasca sobre el suelo parece ser un buen predictor de la respiración del suelo, mientras haya un monitoreo de la temperatura y contenido de agua en el suelo.

La extracción de tierra de hojas en la zona central del país se ha convertido en una práctica habitual, y al año se remueven aproximadamente 60.000 m³ de hojarasca. Esta actividad consiste en el barrido de los primeros 10 a 15 cm del suelo generando una gran perturbación en los ecosistemas boscosos, llevando consigo la degradación de los suelos principalmente a causa de la pérdida de materia orgánica. Esto, además ha limitado las condiciones para la regeneración natural de la vegetación y ha perjudicado la mantención adecuada de las poblaciones adultas del bosque esclerófilo (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2002). A pesar de estos antecedentes, el impacto de esta actividad en los parámetros biofísicos del suelo no se encuentra bien documentado para este tipo de ecosistemas.

Por lo anterior, este estudio tiene por objetivo general determinar el efecto de la extracción de hojarasca, en la respiración, temperatura y contenido de agua, de un suelo bajo un bosque de *Cryptocarya alba* (peumo) y *Peumus boldus* (boldo), en la Comuna de Alhué, Región Metropolitana. Para ello se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la tasa de respiración *in situ* del suelo, en superficies con y sin extracción de tierra de hojas, durante los primeros 20 días de perturbación.
- Determinar la temperatura y contenido de agua del suelo, en superficies con y sin extracción de tierra de hojas, durante los primeros 20 días de perturbación.
- Correlacionar las variables temperatura del aire, humedad atmosférica, temperatura y contenido de agua del suelo con la tasa de respiración.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la Hacienda Ecológica los Cobres de Loncha (34° 7' 36''S, 71° 11' 18''W; 247 m.s.n.m.), la cual es propiedad de la división El Teniente de CODELCO-Chile (Figura 1). Este predio posee una superficie de 23.254 hectáreas y se ubica en la Comuna de Alhué, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana de Santiago (CODELCO Chile-División El Teniente, 2006). La hacienda se sitúa en la cuenca del Estero Carén, ubicada entre dos corredores montañosos de la Cordillera de la Costa. La topografía es montañosa costera, abrupta, disectada por valles encajonados de fuertes pendientes (CODELCO Chile-División El Teniente, 2006 y Corporación Nacional Forestal, 2008).

El clima del sector de Loncha se define como templado cálido, con estación seca prolongada de una duración de 6 a 8 meses. Además, registra una pluviometría media anual de 503 mm y un período seco medio de 7 meses. Las temperaturas del aire medias mensuales varían entre una máxima de 29 °C en el mes más cálido (enero) y una mínima de 3 °C en el mes más frío (julio) (Corporación Nacional Forestal, 2008). En el valle y las terrazas aluviales del Estero Carén, los suelos derivan de materiales graníticos de tipo aluvial, además, poseen texturas arcillosas a limosas, siendo de color pardo oscuro a negro, profundos y con buena fertilidad (Corporación Nacional Forestal, 2008). De acuerdo a la clasificación realizada por Gajardo (1994), el área de estudio está situada en la Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo, Sub-región del Bosque Esclerófilo (CODELCO Chile-División El Teniente, 2006).

Específicamente, el área de estudio corresponde a un bosque perturbado, que presentaba evidencias de haber sido afectado por un incendio hace aproximadamente 50 años atrás, lo que ha permitido que se forme un bosque secundario cuyo estrato arbóreo superior está conformado por peumo (*Cryptocarya alba* (Molina) Looser), boldo (*Peumus boldus* Molina) y quillay (*Quillaja saponaria* Molina), y el inferior por litre (*Lithraea caustica* (Molina) Hook y Arn). La cobertura arbórea es cercana al 100%. El estrato arbustivo está compuesto principalmente de tebo (*Retanilla trinervia* (Gillies y Hook.) Hook. y Arn), mientras que en el estrato herbáceo se encuentra ortiga caballuna (*Loasa triloba* Dombey ex A.L.Juss) y lirio del campo (*Alstromeria* spp.). La litera se encuentra bien desarrollada pudiéndose diferenciar claramente la capas O_i, O_e y O_a, además presenta un horizonte A rico en materia orgánica de color pardo oscuro, y estructuras de tipo granular en superficie y bloques subangulares finos y medios en profundidad.

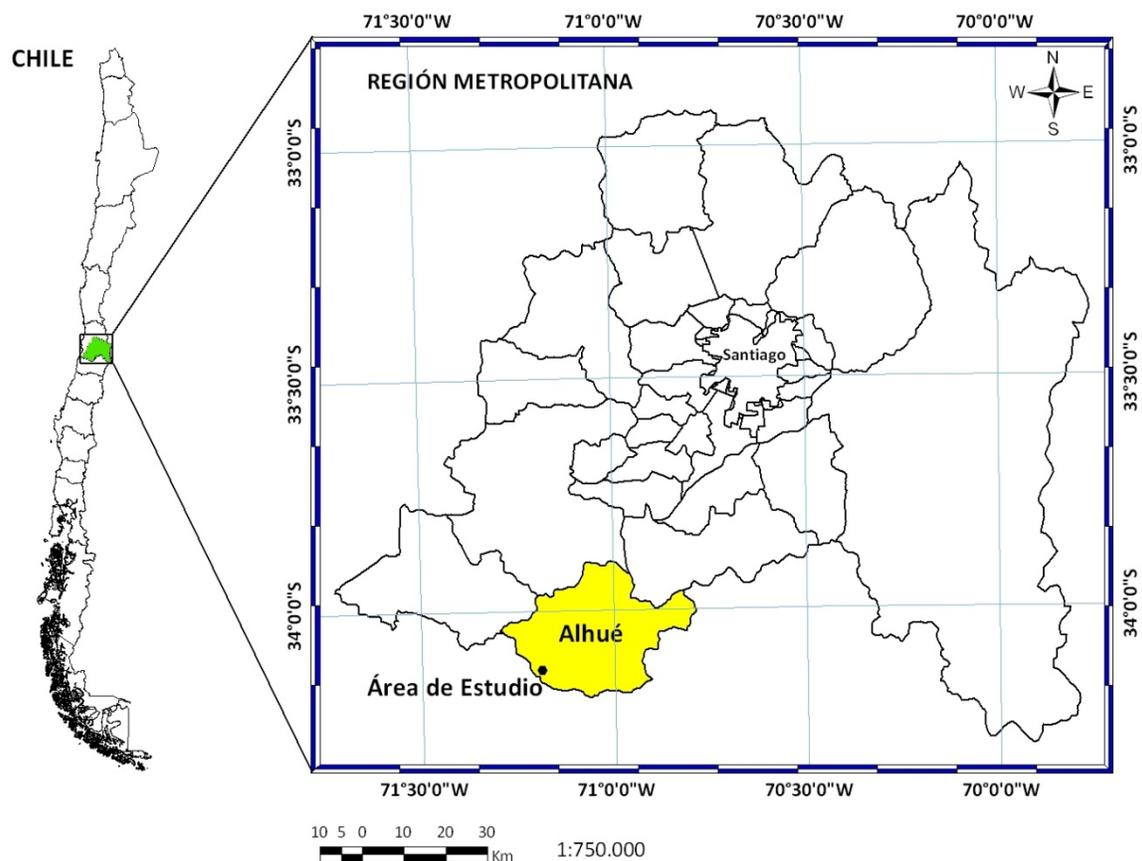


Figura 1. Ubicación de la Hacienda Ecológica Los Cobres de Loncha en la Comuna de Alhué en la Región Metropolitana

2.2 Instalación del ensayo

El ensayo consideró la instalación de tres parcelas colindantes de 10 x 10 m (100 m²) separadas entre 10 y 30 metros cada una. Cada parcela fue dividida en dos sub-parcelas de 5 x 10 m (Figura 2). En el interior de cada sub-parcela se instalaron, de manera aleatoria, 6 cilindros de PVC de 10 cm de diámetro interno, los cuales fueron insertados en el suelo aproximadamente 8 cm en profundidad mediante presión manual.

Se consideraron seis repeticiones por sub-parcela. Luego de una semana, y de manera de evitar el efecto de perturbación causado por la inserción de los cilindros, se aplicaron los tratamientos a evaluar. El primer tratamiento consistió en la extracción manual de las capas Oi y Oe+Oa del suelo en un área de 0,56 m² (Tratamiento CE). Se retiraron entre $9,2 \pm 1,08$ y $14,4 \pm 1,42$ Mg ha⁻¹ de las capas Oi y Oe+Oa aproximadamente (n=18) (promedio \pm error estándar). El segundo tratamiento correspondió al control (SE), el cual mantuvo la hojarasca intacta. En cada parcela hubo una sub-parcela con extracción y otra sin extracción de hojarasca.

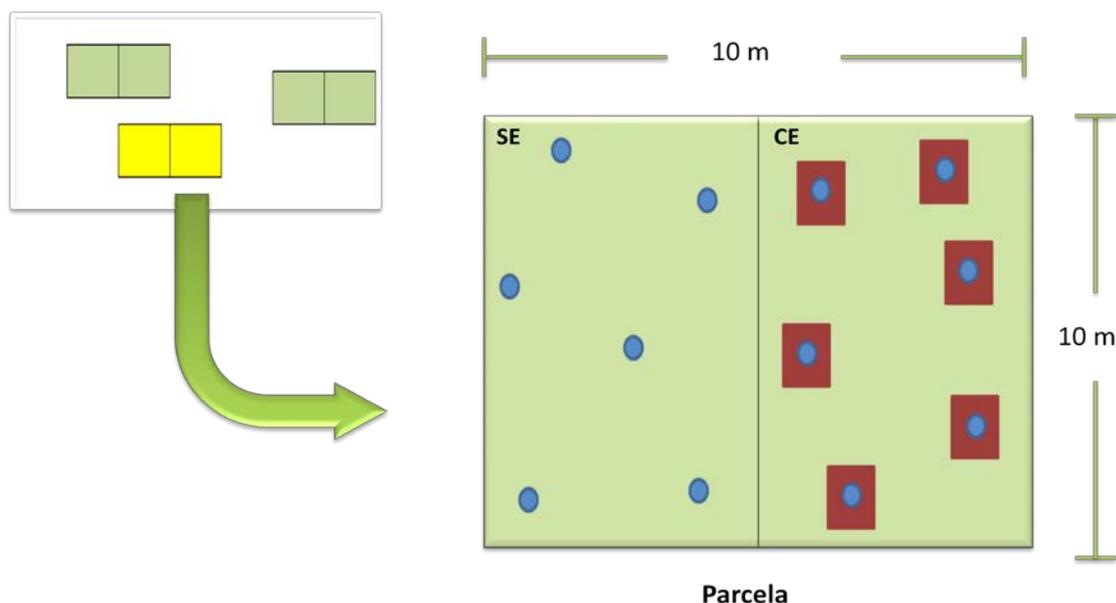


Figura 2. Diseño del ensayo para determinar el efecto de la extracción de la hojarasca sobre la respiración del suelo, temperatura y contenido de agua en el suelo.

2.3 Mediciones

El flujo de CO_2 ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) fue medido en cada cilindro de PVC (seis cilindros por tratamiento y por bloque) con un analizador infrarrojo de CO_2 (Modelo EGM-4 Environmental Gas Monitor System, PP Systems, E.E.U.U.) conectado a una cámara de respiración del suelo SRC-1 de la misma marca (Figura 3a).

Al mismo tiempo en que se midió el flujo de CO_2 , se determinó el contenido de agua del suelo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) de los primeros 6 cm de profundidad, mediante un sensor de humedad (WET Sensor type WET-2, Delta-T Devices) localizado a un costado de cada collar de PVC (Figura 3b). Este sensor también está provisto de un termistor, el cual permitió la lectura de la temperatura a los 6 cm de profundidad. Paralelamente, se midió la temperatura del suelo a 10,5 cm de profundidad con un termómetro digital (Checktemp 1, Hanna Instruments) (Figura 3c). Fueron escogidas ambas profundidades porque la mayoría de las raíces y de la materia orgánica se encuentran en la parte superior del suelo mineral, a unos 10 cm de profundidad. Luego de medir el flujo de CO_2 , se midió la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) con un termómetro infrarrojo (IR Wide Range Non-Contact Thermometer, Extech Instruments) para conocer el potencial calentamiento de la superficie del suelo (Figura 3d).

Además, en cada parcela fue colocado un sensor de temperatura y humedad relativa del aire (Hobo Pro Series, Onset Computer Corporation, Modelo H08) para registrar la condición atmosférica al momento de las mediciones.

En total, se midieron 18 cilindros sin extracción y 18 cilindros con extracción de hojarasca, cuyas mediciones se realizaron aproximadamente cada 4 días durante un período de 20 días. Las mediciones se realizaron en el mes de Octubre del año 2009 entre las 11:30 y 18:00 horas aproximadamente. Además, cabe destacar que en las sub-parcelas del

tratamiento CE se realizaron las mediciones antes e inmediatamente después de la extracción de la hojarasca.

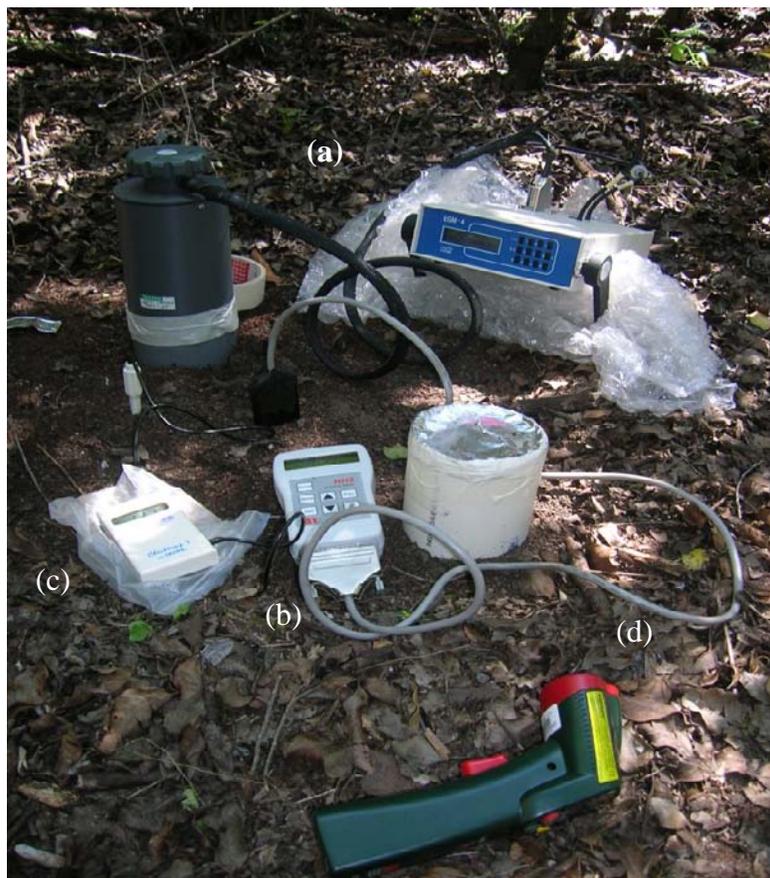


Figura 3. Instrumentos utilizados en las mediciones: (a) Analizador infrarrojo, (b) Sensor de humedad, (c) Termómetro digital, (d) Termómetro infrarrojo.

2.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron por medio de un diseño de bloques completos al azar, usando como variable respuesta la tasa de respiración del suelo y como factores fijos la extracción de litera. Posteriormente, para detectar diferencias significativas en las variables medidas (respiración del suelo, temperatura del suelo tanto a nivel superficial como a los 6 cm y a los 10,5 cm de profundidad) entre los tratamientos SE y CE, los datos fueron sujetos a un Análisis de Varianza (ANDEVA) de un factor durante los distintos días de medición con un nivel de significancia del 5%. Se consideraron como covariables la temperatura y el contenido de agua en el suelo para evaluar la respuesta de la respiración del suelo frente a la extracción de litera.

Puesto que no se cumplió con los supuestos de normalidad de los residuos para la tasa de respiración, las diferentes temperaturas y el contenido de agua del suelo (prueba de Shapiro-Wilks), los datos fueron transformados a logaritmo natural para alcanzar esta condición. Los datos finales son representados en su forma no transformada manteniendo las discriminaciones entregadas por el análisis estadístico de los datos transformados.

También, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables medidas (i.e. respiración del suelo, contenido de agua en el suelo temperaturas e interacciones contenido de agua en el suelo por la temperatura del suelo), para cada tratamiento.

Los datos fueron analizados empleando el software estadístico SPSS Statistics 17.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de la extracción de la hojarasca en la respiración del suelo

La tasa de respiración, a lo largo del ensayo, fue de $0,63 \pm 0,02 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en la situación sin extracción de hojarasca, mientras que cuando se retiró esta capa fue de $0,43 \pm 0,02 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (valor \pm error estándar de la media). Esta reducción del 31,7% concuerda con la disminución observada en un estudio realizado en un bosque de *Picea abies*, la cual fue entre el 30 y 40% (Buchmann, 2000). Similarmente, en un bosque templado de *Picea sitchensis*, la contribución de las capas orgánicas a las respiración del suelo fue del 32,9% (Saiz *et al.*, 2007). Por tanto, cuando se retira la hojarasca y parte de los sustratos orgánicos en etapa de humificación, se están extrayendo comunidades de microorganismos del suelo que son los responsables de la mineralización de la materia orgánica. Adicionalmente, la extracción de las capas de hojarasca podría implicar una menor cantidad de sustrato disponible para los microorganismos del suelo disminuyendo así la tasa de descomposición (Wenjie *et al.*, 2008).

La tasa de CO₂ emitida desde suelo inmediatamente después de retirar las capas orgánicas (aproximadamente 15 minutos) no mostró diferencias entre los tratamientos ($F_{1,34} < 0,62$; $P > 0,437$). De manera similar, en una medición posterior realizada en el mismo día tampoco reveló diferencias significativas entre ambos tratamientos ($F < 0,01$; $P > 0,91$), por lo que la respiración del suelo no fue afectada durante el primer día por la extracción de la litera.

En los días subsiguientes (a partir del cuarto día de medición), el tratamiento CE mostró tasas de respiración significativamente menores que SE (Cuadro 1), lo cual puede ser atribuido a la menor cantidad de sustrato orgánico para la descomposición, a la pérdida de poblaciones microbianas encargadas del proceso de mineralización y a la muerte de las raíces superficiales. Estas últimas al quedar expuestas, se desecan y por ende dejan de contribuir al proceso de respiración.

La extracción de hojarasca tuvo una influencia significativa sobre la respiración del suelo a partir del cuarto día, lo cual se prolongó hasta el último día del ensayo, sin embargo se debe aclarar que en el día 20, la distribución de los residuos no fue normal (Cuadro 1). En la Figura 4(a), se observa que a partir del día 12 de iniciado el ensayo, las variaciones temporales en la respiración del suelo en CE son menores que en SE, por lo que la capa de hojarasca fue más sensible que el suelo mineral a los factores que afectan la tasa de CO₂ desde el suelo.

En el último día de medición se produjo un aumento del 46,1% en la tasa de respiración del suelo con respecto a la medición anterior para el tratamiento SE y del 50% en comparación con el tratamiento CE, lo cual probablemente fue causado por las precipitaciones registradas antes de iniciar las mediciones (Figura 4b).

En el último día del ensayo, la tasa de emisión de CO₂ en el tratamiento SE tuvo un aumento del 46,1% en comparación a la medición anterior y del 50% en relación al tratamiento CE. Este incremento en la respiración del suelo probablemente fue causado por las precipitaciones registradas antes de iniciar las mediciones (Figura 4b). Estas lluvias ocasionaron un leve humedecimiento de la hojarasca y de las primeras capas del suelo

mineral en relación a la medición anterior, lo cual sumado a bajos contenido de agua registrados durante el ensayo daría como resultado un incremento en la tasa de CO₂ liberado (Wenjie *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Valores promedio (\pm error estándar) de la respiración del suelo (g CO₂ m⁻² h⁻¹) y el efecto de la extracción de hojarasca para cada día de medición.

Día	Tratamiento	Respiración del suelo	Significancia
1	SE	0,65 \pm 0,05	0,91
	CE	0,68 \pm 0,06	
4	SE	0,64 \pm 0,06	0,031*
	CE	0,48 \pm 0,06	
12	SE	0,57 \pm 0,03	0,000**
	CE	0,32 \pm 0,02	
16	SE	0,52 \pm 0,02	0,000**
	CE	0,35 \pm 0,02	
20	SE	0,76 \pm 0,05	0,000*** ^a
	CE	0,38 \pm 0,03	

* P<0,05, ** P<0,01, ^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

Estas lluvias estimulan la actividad de los microorganismos que metabolizan los sustratos orgánicos procedentes de los residuos y de los propios microorganismos muertos ocurrida durante períodos más secos (Gómez *et al.*, 2008). Además, la estimulación en parte puede ser resultado del desplazamiento del aire rico en CO₂ desde el interior del suelo y a partir de la actividad de los microorganismos que oxidan el carbono disuelto en el agua, pero el principal efecto probablemente sea el resultado de la estimulación de la descomposición de la hojarasca como respuesta de la biomasa microbiana al aumento en la humedad del suelo (Rey *et al.*, 2002).

Las fluctuaciones en humedad relativa del aire no parecen influir en la respiración del suelo durante el ensayo. Similarmente, Sotta *et al.* (2006) no encontraron relaciones entre el flujo de CO₂ y variables climáticas en un bosque lluvioso. Pero, cabe destacar que cuando la humedad relativa del aire supera el 70%, lo cual fue observado en los días 12 y 20 se registraron las mayores diferencias en la respiración entre los dos tratamientos (Figura 4a y Figura 4c).

En la Figura 4(a) y Figura 4(d) se observa que la respiración del suelo suele tener una tendencia similar que las fluctuaciones observadas en el contenido de agua en el suelo para cada tratamiento, sugiriendo que existe una relación entre ambas variables, la cual será analizada más adelante.

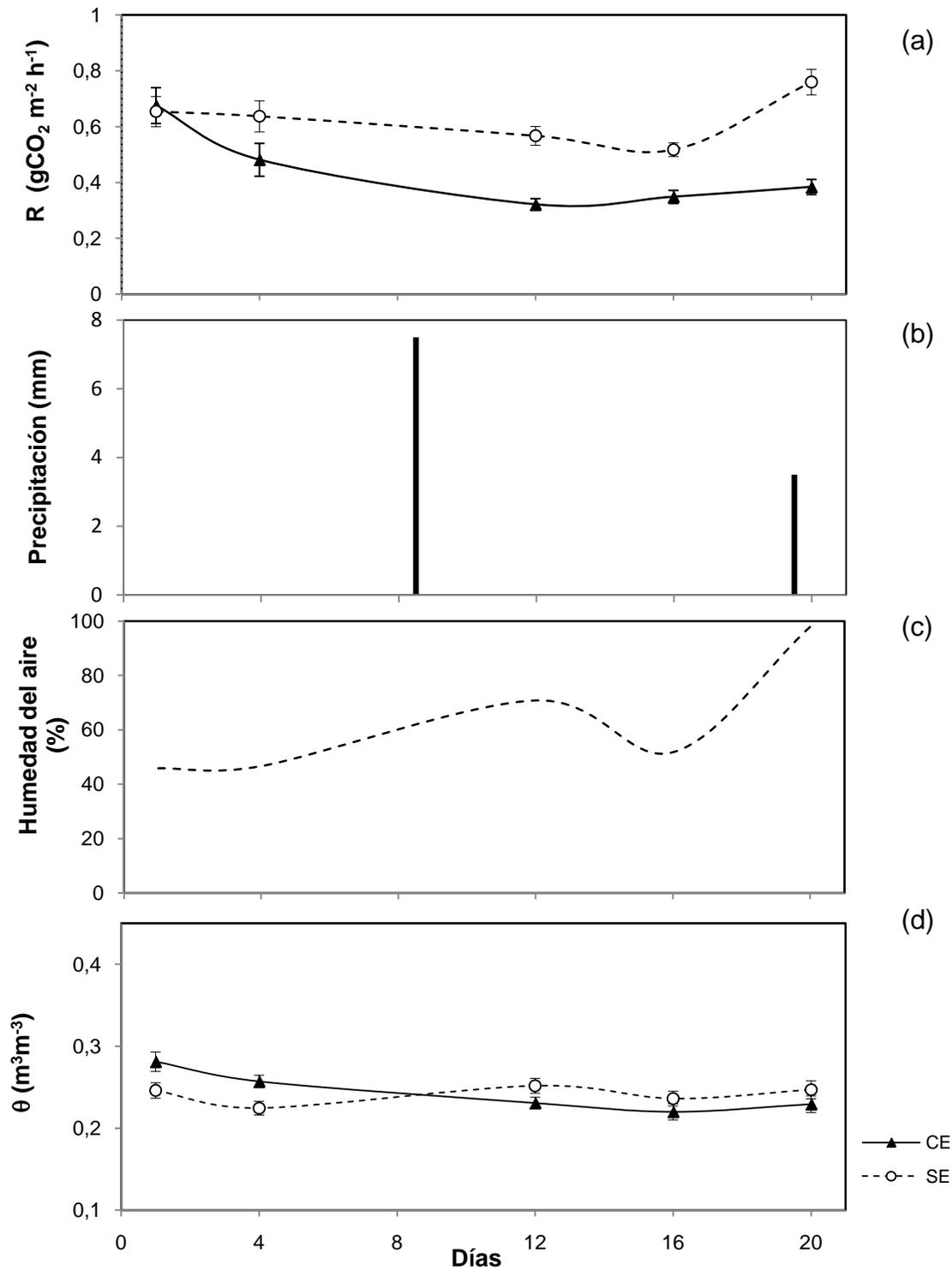


Figura 4. (a) Variación temporal de la tasa de respiración del suelo (b) Precipitación registrada durante el ensayo (c) Variación temporal de la humedad relativa del aire (d) Variación temporal del contenido de agua en el suelo para los tratamientos CE y SE. Las barras de error representan \pm un error estándar (n= 18).

3.2 Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el suelo

Durante el ensayo, el contenido de agua del suelo fue en promedio $0,24 \pm 0,004 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ para ambos tratamientos. Las mayores fluctuaciones del contenido de agua del suelo ocurrieron en el tratamiento CE donde se registraron los valores máximos y mínimos correspondiendo al $0,14 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ y $0,35 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ respectivamente.

Adicionalmente, en este tratamiento se observa una disminución del contenido de agua en el suelo durante los primeros 16 días de medición (Figura 4d). Esto puede deberse a la ausencia de la hojarasca, la cual actúan como un amortiguador para la conservación y distribución del agua en el suelo (Wenjie *et al.*, 2008), al interceptar parte de la precipitación y también evitar el rápido desecamiento del suelo por evaporación.

En el primer y cuarto día de iniciado el ensayo se observó que existían diferencias significativas ($F_{1,22} > 5,37$; $P < 0,03$ y $F_{1,34} > 7,77$; $P < 0,009$, respectivamente) entre ambos tratamientos, pero se debió a que el equipo de medición alcanzó una mayor profundidad luego de retirar las capas Oi y Oe+Oa del suelo, lo cual se corrigió para las mediciones posteriores.

Como se aprecia en la Figura 4(d), a partir del día 12, los menores contenidos de agua en el suelo se registraron en los tratamientos con extracción de hojarasca. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos (Cuadro 2). Los menores registros encontrados en el tratamiento CE son concordantes con la investigación realizada por Wenjie *et al.* (2008), quienes señalan que cuando el suelo carece de la protección de la hojarasca se facilita la liberación del agua del suelo, y de este modo el contenido de agua del suelo tiende a disminuir. Similarmente, Rey *et al.* (2002) al comparar los tratamientos con y sin extracción de hojarasca, tampoco encontró diferencias significativas en el contenido de agua del suelo en un bosque *Quercus cerris* L. desarrollado en un clima mediterráneo.

Cabe destacar que en el último día de medición se registraron 3,5 mm de lluvia, sin embargo el contenido de agua en el suelo a los 6 cm de profundidad varió sólo en $0,01 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ en ambos tratamientos (Cuadro 2).

En la Figura 4 (d) se observa que el contenido de agua en el suelo superficial bajo el tratamiento SE mantiene la misma tendencia que la humedad relativa del aire con fluctuaciones bastante más suaves en el primero.

Cuadro 2. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el suelo (m^3m^{-3}) en cada día de medición (media \pm error estándar).

Día	Tratamiento	Media	Significancia
Día 1	SE	0,25 \pm 0,009	0,030*
	CE	0,28 \pm 0,012	
Día 4	SE	0,22 \pm 0,008	0,009**
	CE	0,26 \pm 0,008	
Día 12	SE	0,25 \pm 0,009	0,078
	CE	0,23 \pm 0,007	
Día 16	SE	0,24 \pm 0,009	0,223
	CE	0,22 \pm 0,010	
Día 20	SE	0,25 \pm 0,011	0,285
	CE	0,23 \pm 0,010	

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, ^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

3.3 Efecto de la extracción de la hojarasca en la temperatura del suelo a distintas profundidades

3.3.1 Temperatura superficial del suelo

La temperatura superficial medida instantes después de extraída la hojarasca fue significativamente menor en CE comparada con SE ($F_{1,34} > 208,4$; $P < 0,001$), por tanto la hojarasca estaría desempeñando un rol importante en la regulación de la temperatura

Durante el ensayo, la extracción de la hojarasca produjo una reducción en la temperatura superficial del suelo, la cual en promedio fue del 13,2% en comparación al tratamiento SE. Esto puede deberse a que la hojarasca es un amortiguador de la temperatura del suelo y posee una baja difusividad térmica, por lo que al carecer de esta capa, el suelo liberaría más rápido el calor y a nivel superficial la temperatura tendería a ser menor.

En la Figura 5(b) se observa que a nivel superficial existe una alta variación de la temperatura del suelo al comparar los distintos días de medición, lo cual también fue observado por Nakadai *et al.* (2002) quienes además afirman que los cambios diarios de la temperatura del suelo son más marcados en las capas superiores del suelo y siguen el patrón de comportamiento de la temperatura del aire.

La temperatura del aire promedio fue superior a la temperatura de la superficie del suelo en el tratamiento CE, pero fue menor a la temperatura superficial registrada en el tratamiento SE, encontrándose una brecha del 9,2% y 4,6% respectivamente.

La temperatura del suelo fue mayor que la temperatura del aire cuando la hojarasca permaneció intacta durante los primeros 16 días, pues la temperatura del suelo hasta los 2 cm de profundidad es mayor que la que se registra en el aire (Taylor y Aschcroft, 1972). En

cambio, cuando se ha extraído la capa de hojarasca la temperatura del suelo es menor que la atmosférica, excepto en los días 16 y 20.

En el Cuadro 3 se observa que la temperatura superficial es la única variable que tuvo diferencias significativas entre ambos tratamientos a lo largo de todo el ensayo, lo cual se debe, tal como se expresó anteriormente, a que la hojarasca es un amortiguador de la temperatura del suelo y posee un baja difusividad térmica, por lo que al carecer de esta capa, el suelo liberaría más rápido el calor. Además es necesario señalar que la hojarasca posee un albedo distinto, comparado con el suelo mineral expuesto luego de la extracción, lo cual también crea variaciones en el balance de energía y por ende en la temperatura superficial.

En la Figura 5(b), también se ve que a medida que transcurren los días, la diferencia entre las temperaturas de ambos tratamientos tendió a disminuir significativamente e incluso en el último día de medición la temperatura del tratamiento CE es levemente mayor a SE, pues el suelo desprovisto de hojarasca posee un contenido de agua menor (Cuadro 2), y por tanto se calienta más rápido. Similarmente, Wenjie *et al.*, (2008) observaron que la extracción de la hojarasca aumenta ligeramente la temperatura del suelo en la primavera.

En general, se registraron las temperaturas más altas cuando la capa hojarasca se encuentra presente, excepto en el día 20, en el cual el tratamiento CE registró una mayor temperatura promedio, pero la diferencia sólo alcanza 0,6 °C.

En la Figura 5(b) se observa que la mayor diferencia en la temperatura superficial entre tratamientos se registró en el primer día, debiéndose a que la temperatura en la superficie de la hojarasca fue similar a la registrada en el aire y al extraer esta capa, la temperatura superficial disminuyó significativamente, porque la radiación solar no alcanzó a penetrar directamente el suelo al momento de la medición.

Cuadro 3. Efecto de la extracción de la hojarasca en la temperatura del suelo (°C) a distintas profundidades (Valores promedio \pm error estándar).

Día	Trat.	Temp. superficial		Temp. 6 cm		Temp. 10,5 cm	
		Media	Sig.	Media	Sig.	Media	Sig.
1	SE	21,7 \pm 1,35	0,00** ^a	16,0 \pm 0,50	0,32	12,3 \pm 0,06	0,64
	CE	14,9 \pm 0,13		16,4 \pm 0,28		12,3 \pm 0,08	
4	SE	23,0 \pm 0,6	0,00** ^a	17,0 \pm 0,40	0,73	12,3 \pm 0,05	0,39
	CE	19,0 \pm 0,68		17,1 \pm 0,22		12,4 \pm 0,08	
12	SE	16,5 \pm 0,27	0,00**	13,9 \pm 0,10	0,00**	13,1 \pm 0,06	0,11
	CE	15,1 \pm 0,18		14,5 \pm 0,13		12,9 \pm 0,05	
16	SE	23,9 \pm 0,74	0,01** ^a	16,2 \pm 0,36	0,00**	12,9 \pm 0,1	0,23
	CE	21,6 \pm 0,59		17,6 \pm 0,35		13,1 \pm 0,13	
20	SE	10,1 \pm 0,11	0,00** ^a	13,1 \pm 0,12	0,00**	13,3 \pm 0,06	0,02*
	CE	10,7 \pm 0,14		12,5 \pm 0,10		13,1 \pm 0,06	

* P<0,05, ** P<0,01, ^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

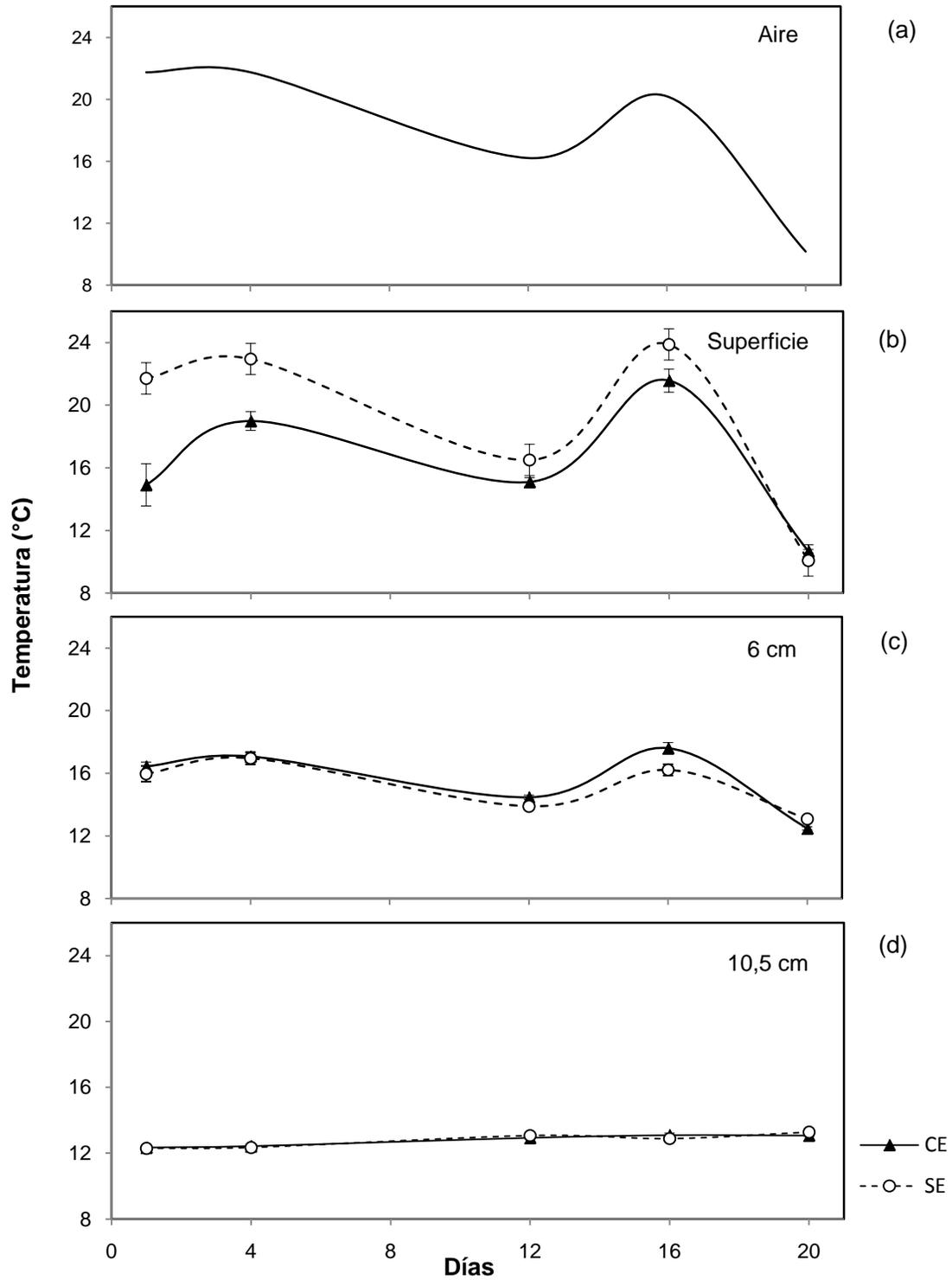


Figura 5. Variación temporal de la temperatura (a) aire, (b) superficial del suelo, (c) del suelo a 6 cm de profundidad, (d) del suelo a 10,5 cm de profundidad para los tratamientos CE y SE. Las barras de error representan \pm un error estándar.

3.3.2 Temperatura del suelo a 6 cm y 10,5 cm de profundidad

A minutos de extraer la hojarasca no se produjeron diferencias significativas entre tratamientos en la temperatura a 6 cm ($F_{1,34} < 0,14$; $P > 0,71$) y 10,5 cm de profundidad ($F_{1,34} < 0,54$; $P > 0,47$), lo cual señala que la extracción inmediata de la hojarasca sólo afectó a la temperatura a nivel superficial.

La temperatura promedio a los 6 cm de profundidad para el tratamiento CE fue de $15,5 \pm 0,23$ °C, mientras que para el tratamiento SE fue de $15,2 \pm 0,21$ °C. Esto indica que la temperatura del suelo a los 6 cm mostró una leve variación a la extracción de la hojarasca. En cambio, a los 10,5 cm de profundidad, la temperatura promedio fue de $12,8 \pm 0,06$ °C para CE y $12,8 \pm 0,05$ °C, por lo que a este nivel no hubo variaciones entre CE y SE, como se constata en las Figura 5(c) y Figura 5(d).

En comparación con la temperatura superficial, la temperatura a los 6 cm de profundidad tuvo una disminución del 19,4% en CE y tan sólo del 4,8% en SE. De manera similar, la temperatura a los 10,5 cm en comparación a los 6 cm de profundidad registró una disminución del 17,5% y del 15,6% para el tratamiento CE y SE correspondientemente. Por tanto, a medida que se aumenta en profundidad, la temperatura del suelo en CE disminuye en mayor medida que en SE, lo cual puede ser explicado por la distinta conductividad del calor que tiene el suelo mineral desnudo en comparación con un suelo con cubierta de hojarasca (Borken *et al.*, 2002).

La temperatura del suelo a 6 cm de profundidad arrojó diferencias significativas entre los tratamientos a partir del día 12 ($F_{1,34} > 12,6$; $P < 0,001$) hasta el día en que se finaliza el ensayo ($F_{1,34} > 15,34$; $P < 0,001$), mientras que a los 10,5 cm de profundidad sólo se encontraron diferencias significativas en el último día del ensayo ($F > 5,39$; $P < 0,022$). Esto señala que la temperatura del suelo mostró una respuesta más tardía a la extracción de la hojarasca a medida que se aumenta en la profundidad del suelo. Entonces, la extracción de hojarasca estaría afectando gradualmente el perfil de temperaturas en los primeros 10,5 cm del suelo.

Cabe destacar que la mayor diferencia en la temperatura a 6 cm de profundidad entre tratamientos fueron registradas en el día 16, donde se observó un aumento del 8,6% en la temperatura del suelo en el tratamiento CE, por tanto la temperatura del suelo aumentó sutilmente cuando se carece de las capas orgánicas del suelo. Además, sólo en el día 20 se registraron temperaturas más altas en el tratamiento SE, lo cual pudo deberse a la disminución de la temperatura del aire, la cual tuvo un mayor impacto en el suelo desprovisto de hojarasca, pues esta capa atenúa los cambios de temperatura producidos en el aire.

La temperatura a los 10,5 cm de profundidad en los días 12 y 20, fue levemente menor para el tratamiento CE, situación similar a lo observado por Sayer *et al.* (2007) quienes encontraron que al remover la capa de hojarasca se producía una disminución de la temperatura del suelo cuando se han registrado precipitaciones recientes.

En comparación con la temperaturas medidas en las capas superiores del suelo, la temperatura a los 10,5 cm no presentó grandes variaciones (Figura 5d), lo cual se debió a

que la amplitud de la variación de la temperatura disminuye con la profundidad del suelo (Pavelka *et al.*, 2007). De manera similar, Graf *et al.* (2008), señalan que para cortos períodos de medición a mayor profundidad se produce una disminución de la fluctuación de la temperatura.

En las Figura 5(c) y Figura 5(a) se aprecia que la temperatura a los 6 cm de profundidad se comporta de manera similar que la temperatura atmosférica para ambos tratamientos. En cambio, las pequeñas variaciones de la temperatura del suelo a los 10,5 cm de profundidad no tienen relación con la temperatura atmosférica, pues a pesar de que se observan fluctuaciones a nivel del suelo, éstas no siguen la misma tendencia que la temperatura del aire. Esto concuerda con lo expuesto con Campbell y Norman (1995) quienes señalan que los cambios diurnos en temperatura del aire son amortiguados por el suelo al incrementar su profundidad y además mostraría una respuesta tardía a tales fluctuaciones.

3.4 Relación entre la Respiración del Suelo, Contenido de Agua y la Temperatura del Suelo

En el Cuadro 4, se observa que existe una correlación lineal negativa muy débil entre la temperatura superficial y la tasa de respiración del suelo durante los 20 días que duró el ensayo, siendo significativa sólo cuando la hojarasca permanece intacta. Sin embargo, no se encontraron correlaciones significativas entre la respiración del suelo y las temperaturas a 6 cm y 10 cm de profundidad para ambos tratamientos. Además, Graf *et al.*, (2008) indican que cuando se carece de la capa de hojarasca, la sensibilidad de la respiración del suelo a la temperatura del suelo dentro de los primeros 10 cm de profundidad puede ser subestimada. Tampoco, se encontró una relación significativa con el contenido de agua en el suelo (Cuadro 4).

Rey *et al.* (2002) señalan que contenidos de agua volumétricos menores a $0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pueden distorsionar la relación entre la temperatura y la respiración del suelo en ecosistemas mediterráneos. Por tanto, el bajo contenido de agua en el suelo podría ser el motivo de las débiles correlaciones encontradas. Pero, por otro lado, la ausencia de correlación significativa entre la respiración del suelo y la temperatura y contenido de agua en el suelo está indicando que es difícil que tan sólo una variable pueda explicar por sí sola un proceso tan complejo que opera en todo el perfil bajo la influencia de la heterogeneidad del sustrato y muchos otros factores ambientales.

Por este motivo, se realizó un análisis de correlación que incluyera tanto las temperaturas a distinta profundidad por el contenido de agua en el suelo, pues un estudio realizado por Rey *et al.* (2002) en un ecosistema mediterráneo indica que durante la primavera existe una interacción entre la temperatura y el contenido de agua que permite estimar la tasa de respiración del suelo.

Para este ensayo se encontró que existe una correlación lineal negativa muy débil entre la respiración del suelo y las interacciones temperatura superficial por el contenido de agua en el suelo, y temperatura a 6 cm de profundidad por el contenido de agua en el suelo, sólo cuando la capa de hojarasca se encuentra presente (Cuadro 4). Esto señala que la respiración del suelo en el suelo desnudo no fue sensible a la interacción temperatura por el

contenido de agua, y que por tanto, la hojarasca favorece a un microclima que es el adecuado para la producción de CO₂ por parte de los heterótrofos del suelo.

Por tanto, existe una sutil interacción entre la temperatura del suelo y el contenido de agua en el suelo que permite explicar las tasas de respiración del suelo cuando la hojarasca se encuentra presente, pues en esta capa se encuentran microorganismos, raicillas de plantas y materia orgánica que contribuyen en la tasa de emisión de CO₂.

En general, a causa de las débiles y nulas correlaciones observadas, no se evidencia una clara relación entre la respiración del suelo, las temperaturas medidas a distinta profundidad y el contenido de agua. Lo cual sugiere que tal vez exista otro tipo de relación que no sea del tipo lineal, pues en otros estudios han encontrado relaciones del tipo exponencial entre estas variables (Han *et al.*, 2007; Jabro *et al.*, 2008).

Por otro lado, se debe agregar que la temperatura del suelo, y sobre todo el contenido de agua mostraron pequeñas fluctuaciones durante el ensayo, lo cual puede confundir la interpretación de su relación con la respiración del suelo. Además, es poco probable que datos obtenidos en un corto intervalo de tiempo proporcionen una estimación precisa que permita describir correctamente la respiración del suelo, pues no se tomó en cuenta que existen variaciones estacionales en la cantidad y la actividad de los microorganismos del suelo y de las raíces (Lavigne *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Correlación de Pearson (r) entre la respiración del suelo, la temperatura y el contenido de agua en el suelo según tratamiento.

Variable	Tratamiento	Correlación (r)	Significancia
Temperatura Superficial	SE	-0,28	0,010*
	CE	-0,13	0,228
Temperatura del suelo a 6 cm	SE	-0,21	0,052
	CE	0,17	0,133
Temperatura del suelo a 10,5 cm	SE	0,08	0,443
	CE	-0,21	0,054
Contenido de agua en el suelo	SE	-0,10	0,352
	CE	0,02	0,833
Temperatura superficial por Contenido de agua en el suelo	SE	-0,32	0,003**
	CE	-0,11	0,330
Temperatura 6 cm por Contenido de agua en el suelo	SE	-0,25	0,024*
	CE	0,12	0,283
Temperatura 10,5 cm por Contenido de agua en el suelo	SE	-0,08	0,468
	CE	-0,02	0,828

Nota: *Correlación significativa al nivel 0,05; ** Correlación significativa al nivel 0,01.

Por otra parte, el análisis de bloques arrojó que la temperatura a los 10,5 cm de profundidad durante el primer día de medición afectó de manera significativa a la respiración del suelo ($F_{1,19}>5,82$; $P<0,026$), por lo que la mayoría del CO₂ liberado en este día proviene de la actividad metabólica de las capas superiores del suelo.

Cabe destacar que el día 12 fue el único día en el cual se observó que las variaciones en la tasa de respiración fueran explicadas por la extracción de la hojarasca ($F_{1,30}>44,06$; $P<0,001$) y que tanto el contenido de agua del suelo ($F_{1,30}>5,07$; $P<0,032$) y la temperatura a 10,5 cm de profundidad ($F_{1,30}>4,82$; $P<0,036$) están influyendo entre los tratamientos. De aquí, además se desprende que la actividad biológica de las capas superiores del suelo durante este día fue un poco más sensible al contenido de agua, que a la temperatura del suelo, como también, que las comunidades microbianas de estas capas son susceptibles a distintos rangos de temperatura y humedad del suelo.

En el día 16, nuevamente la extracción de hojarasca afectó la respiración del suelo ($F_{1,30}>48,06$; $P<0,0001$), pero el contenido de agua en el suelo también influyó en las variaciones entre tratamientos ($F_{1,30}>13,16$; $P<0,001$). Sin embargo, en el día 20 sólo la extracción de las capas orgánicas del suelo fue la causante de las variaciones en la tasa de emisión de CO₂ desde el suelo ($F_{1,30}>48,06$; $P<0,001$), lo cual señala que la hojarasca tiene un importante rol en la respiración del suelo, pues en ella existe una gran actividad microbiana, que es la responsable de la descomposición de la materia orgánica, y posterior liberación del CO₂ a la atmósfera.

Estos resultados indican que a partir del día 12 hasta el final de del ensayo, la extracción de la hojarasca influye en la respiración del suelo, pues en esta capa se encuentra la mayor cantidad del carbono orgánico del suelo, el cual es metabolizado por los microorganismos del suelo produciendo el CO₂ (Pavelka *et al.*, 2007).

Por otro lado, entre ambas covariables, el contenido de agua del suelo afectó en mayor medida en las tasas de emisión de CO₂, pues en los días 12 y 16, influyó en las variaciones de la respiración entre tratamientos, pues cualquier cambio en esta variable afectaría a las comunidades de microorganismos que mineralizan tanto de la materia orgánica como la hojarasca, las cuales son sensibles a ciertos rangos de humedad del suelo (Zimmermann *et al.*, 2009). También, se debe tener en cuenta que el ensayo está instalado en un ecosistema mediterráneo, por lo que la disponibilidad de agua sería un factor limitante para este tipo de bosques, afectando la actividad microbiana del suelo. En este sentido, la disponibilidad de agua al momento del inicio del ensayo puede ser considerada baja. Por ende, el sistema edáfico ya está limitado para el desarrollo microbiano por esta variable física.

En tanto, la temperatura a 10,5 cm de profundidad explicó en algunos días la variación de la tasa de respiración entre tratamientos. Saiz *et al.* (2007), también encontraron que aumenta la sensibilidad de la respiración del suelo con la temperatura a los 10 cm, indicando que puede tener muchas causas, como las diferentes composiciones en la comunidad microbiana observadas en las distintas profundidades del suelo, la disminución de la calidad del carbono con la profundidad y la retroalimentación positiva entre la producción CO₂ y la mineralización de nutrientes distintos del carbono.

A pesar de que es reconocida la influencia de la temperatura en los procesos metabólicos de las comunidades microbianas, sobre todo en ecosistemas mediterráneos, esta variable por sí sola no es suficiente para explicar las variaciones de la respiración del suelo entre ambos tratamientos, lo cual concuerda con la investigación realizada por Rey *et al.* (2002). Además, se debe agregar que tanto la temperatura superficial del suelo como la temperatura a los 6 cm de profundidad no tuvieron influencia sobre la tasa de respiración.

También, en numerosos estudios se menciona que la temperatura y el contenido de agua en el suelo covarían durante la primavera (Epron *et al.*, 2001; Khomik *et al.*, 2006), lo cual permitiría explicar las variaciones en la tasa de respiración del suelo, sin embargo esto no se pudo comprobar de manera consistente durante los primeros 20 días de perturbación, sugiriendo que la extracción de la hojarasca es la principal responsable de las variaciones en la respiración del suelo.

Por tanto, la temperatura y el contenido de agua son insuficientes para poder predecir la tasa de respiración del suelo durante los 20 días de perturbación, lo cual sugiere que serían otras las variables necesarias para poder predecirla. Pero, también se debe tener en cuenta que la relación entre la respiración con la temperatura y contenido de agua en el suelo, involucra una compleja interacción que depende de la limitación relativa de ambas variables sobre la actividad microbiana.

4. CONCLUSIONES

La extracción de la hojarasca causa una disminución en la tasa de respiración del suelo, pues se está quitando una cantidad importante de los microorganismos responsables de la mineralización del carbono, como también los compuestos lábiles que son empleados por las comunidades microbianas para la producción de CO₂. Además, al retirar la hojarasca también se retiró fauna del suelo como también algunas de las raíces que contribuyen en la producción de CO₂ desde suelo.

Los pequeños eventos de precipitación aumentan la tasa de respiración del suelo teniendo un importante rol en flujo CO₂, pues ocasionan el re-humedecimiento de la hojarasca, activando el metabolismo de las comunidades microbianas y liberando una mayor cantidad de CO₂ a la atmósfera.

La hojarasca tiene un importante rol en la regulación de la temperatura del suelo, pues el efecto de su extracción a nivel superficial es inmediato, pero a medida que se descende en profundidad es más tardío. En cambio, la ausencia de esta capa no afectó de manera importante al contenido de agua en el suelo durante los veinte días de perturbación.

Existe una relación, aunque muy débil, entre la respiración del suelo y las interacciones temperatura superficial del suelo por el contenido de agua y temperatura del suelo a 6 cm de profundidad por el contenido de agua en el suelo sólo cuando la hojarasca se encuentra presente indicando que esta capa es una importante fuente de carbono y que además, contribuye a un microclima que favorece la actividad de los heterótrofos.

Durante el ensayo, la temperatura del suelo a diferentes profundidades no explica la variabilidad en la respiración del suelo entre tratamientos, porque la temperatura muestra una respuesta tardía a la extracción de hojarasca.

La variación de la respiración del suelo causada por la extracción de la hojarasca se muestra un poco más sensible al contenido de agua que a la temperatura del suelo, porque en la primavera disminuye el contenido de agua siendo éste un factor limitante para el metabolismo de algunas de las comunidades microbianas.

Durante los primeros 20 días de perturbación, tanto la temperatura del suelo como el contenido de agua no fueron suficientes para explicar claramente la variación de la respiración del suelo, siendo ésta mejor explicada por la extracción de hojarasca, la cual causaría una disminución en: la cantidad de microorganismos del suelo responsables de la producción de CO₂ y en el sustrato disponible para el metabolismo de las comunidades microbianas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BORKEN, W.; XU, Y-J; DAVIDSON, E. y BEESE, F. 2002. Site and temporal variation of soil respiration in European beech, Norway spruce, and Scots pine forest. *Global Change Biology* 8: 1205-1216.
- BUCHMANN, N. 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1625-1635.
- CAMPBELL, G. y NORMAN J. 1995. An introduction to environmental biophysics. Springer. Nueva York.
- CODELCO CHILE-DIVISIÓN EL TENIENTE. 2006. Proyecto “Planta abatimiento de Molibdeno y regulacion de pH en ril Carén”. Declaración de Impacto Ambiental. Rancagua, Chile. 137 p.
- CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). 2008. Plan de Manejo Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. 189 p.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). 2002. Promoverán uso de compost para combatir la erosión y pérdida del bosque precordillerano. [en línea] <<http://www.conama.cl/rm/568/article-10194.html>> [consulta: 04 junio 2010]
- DAVIDSON, E.; VERCHOT., L.; CATTÂNIO, H.; ACKERMAN, I.; y CARVALHO, J. 2000. Effect of soil content on soil respiration in forest and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48: 53-69.
- EPRON, D.; FARQUE, L.; LUCOT, E. y BAADOT, P-M. 1999. Soil CO₂ efflux in a beech forest: the contribution of root respiration. *Annals of Forest Science* 56: 289-295.
- EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J-M.; BERBIGIER, P. y HAMEL, O. 2004. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. *Forest Ecology and Management* 202: 149-160.
- GAJARDO, R. 1994. La vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. Editorial Universitaria. Chile. 165 p.
- GÓMEZ, Y.; PAOLINI, J y HERNÁNDEZ, R.M. 2008. Sustitución de la sabana nativa con plantaciones de *Pinus caribaea* (Pinaceae) en Venezuela: efecto sobre parámetros indicadores de cambios en el carbono del suelo. *Biología Tropical* 56 (4): 2041-2053.

- GRAF, A.; WEIHERMÜLLER, L.; HUISMAN, J.A.; HERBST, M.; BAUER, J. y VEREECKEN, H. 2008. Measurement depth effects on the apparent temperature sensitivity of soil respiration in field studies. *Biogeosciences Discussions* 5, 1867-1898.
- HAN, G.; ZHOU, G.; XU, Z.; YANG, Y.; LIU, J. y SHI, K. 2007. Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 418-425.
- HANSON, P.; EDWARDS, N.; GARTEN, C. y ANDREWS, J. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115-146.
- JABRO, J.; SAINJU, U.; STEVENS, W. y EVANS, R. 2008. Carbon dioxide flux affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *Journal of Environmental Management* 88: 1478-1484.
- KHOMIK, M.; ARAIN, M.A. y MCCAUGHEY, J.H. 2006. Temporal and spatial variability of soil respiration in a boreal mixedwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 140, 244-256.
- LAVIGNE, M.B.; FOSTER, R. J. y GOODINE, G. 2004. Seasonal and annual changes in soil respiration in relation to soil temperature, water potential and trenching. *Tree Physiology* 24, 415-424.
- LIU, X.; WAN, S.; SU, B. y LUO, Y., 2002. Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant Soil* 240, 213-223.
- MA, S.; CHEN, J.; BUTNOR, J.; NORTH, M.; EUSKIRCHEN, E. y OAKLEY, B. 2005. Biophysical controls on soil respiration in the dominant patch types of an old-growth mixed conifer forest. *Forest Science* 51(3) 221-232.
- MADRITCH, M. y HUNTER, M. 2003. Intraspecific litter diversity and nitrogen deposition affect nutrient dynamics and soil respiration. *Oecologia* 136: 124-128
- NAKADAI, T.; YOKOZAWA, M.; IKEDA, H. y KOIZUMI, H. 2002. Diurnal changes of carbon dioxide flux from bare soil in agricultural field in Japan. *Applied Soil Ecology* 19: 161-171.
- PAVELKA, M.; ACOSTA, M.; MAREK, M.; KUTSCH, W. y JANOUS, D. 2007. Dependence of the Q₁₀ values on the depth of the soil temperature measuring point. *Plant Soil* 292: 171-179.
- RAICH, J. y NADELHOFFER, K. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global Trends. *Ecology* 70 (5) 1346-1354.
- RAICH, W. y POTTER, C. 1995. Global patterns of carbon dioxide emission from soils. *Global Biogeochemical Cycles* 9(1): 23-26.

- RAICH, J. y SCHLESINGER, W. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44B: 81-99.
- RAICH, J. y TUFEKCIOGLU, J. 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90.
- REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J.D.; ROUPSARD, O.; OURCIVAL, J.M.; RAMBAL, S.; DORE, S. y VALENTINI, R. 2002. Ecosystem Respiration in two Mediterranean evergreen Holm oak forests: drought effects and decomposition dynamics. *Functional Ecology* 16: 27-39.
- REY, A.; PEGORARO, E.; TEDESCHI, V.; DE PARRI, I.; JARVIS, P. y VALENTINI, R. 2002. Annual variation in soil respiration and its component in a coppice oak forest in Central Italy. *Global Change Biology* 8, 851-866.
- REYNOLDS, B. y HUNTER, M. 2001. Responses of soil respiration, soil nutrients and litter decomposition to inputs from canopy herbivores. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1641-1652.
- RYAN, M. y LAW, B. 2005. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry* 73: 3-27.
- SAIZ, G.; BLACK, K.; REIDY, B.; LÓPEZ, S. y FARRELL, E. 2007. Assessment of soil CO₂ efflux and its components using a process-based model in a young temperate forest site. *Geoderma* 139: 79-89.
- SAYER, E.J.; POWERS, J.S. y TANNER, E.V.J. 2007. Increased litterfall in tropical forests boosts the transfer of soil CO₂ to the atmosphere. *PLoS ONE* 2(12): e1299.
- SMART, D. y PEÑUELAS, J. 2005. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. *Applied Soil Ecology* 28: 247-257.
- SOTTA, E.D.; VALDKAMP, E.; GUIMARÃES, B.R.; PAIXÃO, R.K.; RUIVO, M.L.P. y ALMEIDA, S.S. 2006. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã Brazil. *Forest Ecology Management* 237, 57-64.
- SULZMAN, E.; BRANT, J.; BOWDEN, R. y LAJTHA, K. 2005. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhizosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry* 73: 231-256.
- TAYLOR, S.A. y ASHCROFT, G.L. 1972. *Physical edaphology*. San Francisco, W.H. Freeman and Company. 532p.
- VOSE, J. y BOLSTAD, P. 2007. Biotic and abiotic factors regulating forest floor CO₂ flux across a range of forest age classes in the southern Appalachians. *Pedobiología*, 50(6), 577-587.

- WENJIE, W.; WEI, L.; WEI, S.; YUANGANG, Z. y SONG, C. 2008. Influences of forest floor cleaning on the soil respiration and soil physical property of a larch plantation in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10), 4750-4756.
- WISEMAN, E. y SEILER, J. 2004. Soil CO₂ efflux across four age classes of plantation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) on the Virginia Piedmont. *Forest Ecology and Management* 192: 297–311.
- ZIMMERMANN, M.; MEIR, P.; BIRD, M.; MALHI, Y. y CCAHUANA, A. 2009. Litter contribution to diurnal and annual soil respiration in a tropical montane cloud forest. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1338-1340.

APÉNDICE 1

ANÁLISIS DE VARIANZA

i. Respiración del suelo

Cuadro 1. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración del suelo en el día 1

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,001	1	0,001	0,013	0,910
Intra-grupos	2,014	22	0,092		
Total	2,016	23			

Cuadro 2. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración del suelo en el día 4

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,893	1	0,893	5,036	0,031*
Intra-grupos	6,029	34	0,177		
Total	6,922	35			

* Estadísticamente significativo $P < 0,05$

Cuadro 3. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración del suelo en el día 12

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2,930	1	2,930	48,823	0,000**
Intra-grupos	2,040	34	0,060		
Total	4,970	35			

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 4. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración del suelo en el día 16

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1,521	1	1,521	26,706	0,000**
Intra-grupos	1,937	34	0,057		
Total	3,458	35			

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 5. Efecto de la extracción de hojarasca en la respiración del suelo^a en el día 20

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4,261	1	4,261	47,739	0,000**
Intra-grupos	3,035	34	0,089		
Total	7,297	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

ii. Contenido de agua en el suelo

Cuadro 21. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el día 1

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,105	1	0,105	5,379	0,030*
Intra-grupos	0,428	22	0,019		
Total	0,533	23			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

* Estadísticamente significativo $P < 0,05$

Cuadro 22. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el día 4

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,175	1	0,175	7,769	0,009**
Intra-grupos	0,766	34	0,023		
Total	0,941	35			

* Estadísticamente significativo $P < 0,05$

Cuadro 23. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el día 12

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,065	1	0,065	3,307	0,078
Intra-grupos	0,669	34	0,020		
Total	0,734	35			

Cuadro 24. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el día 16

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,051	1	0,051	1,538	0,223
Intra-grupos	1,119	34	0,033		
Total	1,170	35			

Cuadro 25. Efecto de la extracción de hojarasca en el contenido de agua en el día 20

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,046	1	0,046	1,179	0,285
Intra-grupos	1,313	34	0,039		
Total	1,358	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

iii. Temperatura superficial del suelo

Cuadro 6. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura superficial^a en el día 1

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,662	1	0,662	112,360	0,000**
Intra-grupos	0,130	22	0,006		
Total	0,791	23			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

** Muy estadísticamente significativo P<0,01

Cuadro 7. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura superficial^a en el día 4

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,344	1	0,344	19,487	0,000**
Intra-grupos	0,601	34	0,018		
Total	0,945	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

** Muy estadísticamente significativo P<0,01

Cuadro 8. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura superficial en el día 12

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,070	1	0,070	19,475	0,000**
Intra-grupos	0,122	34	0,004		
Total	0,192	35			

** Muy estadísticamente significativo P<0,01

Cuadro 9. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura superficial^a en el día 16

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,092	1	0,092	7,320	0,011*
Intra-grupos	0,428	34	0,013		
Total	0,520	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

* Estadísticamente significativo P<0,05

Cuadro 10. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura superficial^a en el día 20

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,806	1	0,806	208,399	0,000**
Intra-grupos	0,131	34	0,004		
Total	0,937	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

** Muy estadísticamente significativo P<0,01

iv. Temperatura del suelo a 6 cm de profundidad

Cuadro 11. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 6 cm en el día 1

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,006	1	0,006	1,010	0,326
Intra-grupos	0,131	22	0,006		
Total	0,137	23			

Cuadro 12. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 6 cm en el día 4

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,001	1	0,001	0,119	0,733
Intra-grupos	0,204	34	0,006		
Total	0,204	35			

Cuadro 13. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 6 cm en el día 12

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,015	1	0,015	12,679	0,001**
Intra-grupos	0,040	34	0,001		
Total	0,054	35			

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 14. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 6 cm en el día 16

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,063	1	0,063	7,873	0,008**
Intra-grupos	0,270	34	0,008		
Total	0,332	35			

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 15. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 6 cm en el día 20

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,020	1	0,020	15,336	0,000**
Intra-grupos	0,044	34	0,001		
Total	0,065	35			

** Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

v. Temperatura del suelo a 10,5 cm de profundidad

Cuadro 16. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 10,5 cm en el día 1

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,000	1	0,000	0,232	0,635
Intra-grupos	0,008	22	0,000		
Total	0,008	23			

Cuadro 17. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 10,5 cm en el día 4

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,000	1	0,000	0,753	0,392
Intra-grupos	0,018	34	0,001		
Total	0,018	35			

Cuadro 18. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 10,5 en el día 12

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,001	1	0,001	2,648	0,113
Intra-grupos	0,012	34	0,000		
Total	0,012	35			

Cuadro 19. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 10,5 en el día 16

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,002	1	0,002	1,530	0,225
Intra-grupos	0,045	34	0,001		
Total	0,047	35			

Cuadro 20. Efecto de la extracción de hojarasca en la temperatura a 10,5 en el día 20

	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0,002	1	0,002	5,730	0,022
Intra-grupos	0,013	34	0,000		
Total	0,015	35			

** Estadísticamente significativo $P < 0,05$

APÉNDICE 2

ANDEVA para el Análisis de un Diseño de Bloques Completos al Azar

i. Día 1

Cuadro 1. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura superficial y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,041	1	0,041	0,437	0,517
Parcela	0,049	1	0,049	0,518	0,480
Temp. superficial	0,003	1	0,003	0,028	0,869
Contenido de agua	0,208	1	0,208	2,200	0,154
Error	1,797	19	0,095		
Total	6,867	23			

Cuadro 2. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 6 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,119	1	0,119	1,403	0,251
Parcela	0,001	1	0,001	0,018	0,896
Temperatura 6 cm	0,187	1	0,187	2,204	0,154
Contenido de agua	0,278	1	0,278	3,280	0,086
Error	1,613	19	0,085		
Total	6,867	23			

Cuadro 3. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 10,5 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,041	1	0,041	0,565	0,461
Parcela	0,176	1	0,176	2,430	0,136
Temperatura 10,5 cm	0,422	1	0,422	5,829	0,026*
Contenido de agua	0,261	1	0,261	3,607	0,073
Error	1,377	19	0,072		
Total	6,867	23			

* Estadísticamente significativo con un valor de $P < 0,05$

ii. Día 4

Cuadro 4. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura superficial y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,574	1	0,574	3,704	0,064
Parcela	0,312	2	0,156	1,005	0,378
Temp. superficial	0,278	1	0,278	1,792	0,191
Contenido de agua	0,362	1	0,362	2,337	0,137
Error	4,651	30	0,155		
Total	23,338	35			

Cuadro 5. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 6 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,227	1	0,227	1,404	0,245
Parcela	0,668	2	0,334	2,063	0,145
Temperatura 6 cm	0,074	1	0,074	0,457	0,504
Contenido de agua	0,478	1	0,478	2,955	0,096
Error	4,854	30	0,162		
Total	23,338	35			

Cuadro 6. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 10,5 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo^a.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	0,339	1	0,339	2,113	0,156
Parcela	1,017	2	0,509	3,170	0,056
Temperatura 10,5 cm	0,116	1	0,116	0,722	0,402
Contenido de agua	0,435	1	0,435	2,713	0,110
Error	4,813	30	0,160		
Total	23,338	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

iii. Día 12

Cuadro 7. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura superficial y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	2,363	1	2,363	40,660	0,000**
Parcela	0,051	2	0,025	0,438	0,649
Temp. superficial	0,023	1	0,023	0,389	0,538
Contenido de agua	0,214	1	0,214	3,685	0,064
Error	1,743	30	0,058		
Total	32,831	35			

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 8. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 6 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	2,738	1	2,738	49,787	0,000**
Parcela	0,029	2	0,014	0,261	0,772
Temperatura 6 cm	0,116	1	0,116	2,109	0,157
Contenido de agua	0,253	1	0,253	4,595	0,040*
Error	1,650	30	0,055		
Total	32,831	35			

* Estadísticamente significativo con un valor de $P < 0,05$

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 9. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 10,5 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	2,235	1	2,235	44,059	0,000**
Parcela	0,072	2	0,036	0,709	0,500
Temperatura 10,5 cm	0,244	1	0,244	4,819	0,036*
Contenido de agua	0,257	1	0,257	5,065	0,032*
Error	1,522	30	0,051		
Total	32,831	35			

* Estadísticamente significativo con un valor de $P < 0,05$

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

iv. Día 16

Cuadro 10. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura superficial y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	1,407	1	1,407	31,883	0,000**
Parcela	0,079	2	0,039	0,893	0,420
Temp. superficial	0,002	1	0,002	0,038	0,846
Contenido de agua	0,476	1	0,476	10,791	0,003**
Error	1,324	30	0,044		
Total	31,442	35			

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 11. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 6 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	1,788	1	1,788	42,564	0,000**
Parcela	0,026	2	0,013	0,311	0,735
Temperatura 6 cm	0,065	1	0,065	1,544	0,224
Contenido de agua	0,546	1	0,546	12,988	0,001**
Error	1,260	30	0,042		
Total	31,442	35			

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

Cuadro 12. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 10,5 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	1,959	1	1,959	48,056	0,000**
Parcela	0,070	2	0,035	0,853	0,436
Temperatura 10,5 cm	0,102	1	0,102	2,511	0,124
Contenido de agua	0,560	1	0,560	13,745	0,001**
Error	1,223	30	0,041		
Total	31,442	35			

**Muy estadísticamente significativo $P < 0,01$

v. **Día 20**

Cuadro 13. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura superficial y el contenido de agua en el suelo ^a.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	1,672	1	1,672	20,012	0,000**
Parcela	0,394	2	0,197	2,359	0,112
Temp. superficial	0,116	1	0,116	1,391	0,248
Contenido de agua	0,100	1	0,100	1,201	0,282
Error	2,506	30	0,084		
Total	22,741	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

**Muy estadísticamente significativo P<0,01

Cuadro 14. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 6 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo ^a.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	2,650	1	2,650	31,548	0,000**
Parcela	0,362	2	0,181	2,156	0,133
Temperatura 6 cm	0,102	1	0,102	1,216	0,279
Contenido de agua	0,132	1	0,132	1,571	0,220
Error	2,520	30	0,084		
Total	22,741	35			

^a No cumple con el supuesto de normalidad de los residuos

**Muy estadísticamente significativo P<0,01

Cuadro 15. Análisis de bloques considerando como covariables la temperatura a 10,5 cm de profundidad y el contenido de agua en el suelo.

Fuente	Suma de Cuadrados	g.l.	Media Cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	2,527	1	2,527	29,510	0,000**
Parcela	0,088	2	0,044	0,514	0,603
Temperatura 10,5 cm	0,053	1	0,053	0,621	0,437
Contenido de agua	0,113	1	0,113	1,323	0,259
Error	2,569	30	0,086		
Total	22,741	35			

**Muy estadísticamente significativo P<0,01