

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA GLOBAL DE UN SUELO  
BAJO DOS SISTEMAS DE MANEJO, ORGÁNICO Y CONVENCIONAL**

**NATALIA MARGARITA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

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

**MEMORIA DE TÍTULO**

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA GLOBAL DE UN SUELO  
BAJO DOS SISTEMAS DE MANEJO, ORGÁNICO Y CONVENCIONAL**

**ASSESSMENT OF GLOBAL MICROBIAL ACTIVITY IN A SOIL UNDER TWO  
MANAGEMENT SYSTEMS, ORGANIC AND CONVENTIONAL**

**NATALIA MARGARITA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ**

**SANTIAGO - CHILE**

**2014**

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

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA GLOBAL DE UN SUELO  
BAJO DOS SISTEMAS DE MANEJO, ORGÁNICO Y CONVENCIONAL**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**NATALIA MARGARITA RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ**

<b>Profesora Guía</b>	<b>Calificaciones</b>
M. Teresa Varnero M. Químico-Farmacéutico	6,0
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,6
Loreto Canaves S. Ingeniero Agrónomo, M.S.	6,4

**SANTIAGO, CHILE**  
**2014**

*A la vida y toda su manifestación...*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en específico a mis padres Eva G. y Miguel R. por su apoyo amoroso e incondicional que me impulsaron a continuar la experiencia de la tesis. También a mi hermano Miguel R. y mi pareja Pablo Q. que me orientaron en la toma de decisiones en lo práctico y lo emocional. Por otro lado agradezco a mis amigas(os) Camila C., María Ignacia N., Chantall H., Karla U., Beatriz A., Ninozka G., Javier P., Jorge S., Felipe H., Jorge I., Carolina T., Alexis S., Valentina M. y hermanos Valeria y Leonardo por el valioso aporte de su experiencia y apoyo.

A mi profesora guía María T. Varnero y a sus ayudantes Karina, Javiera y Fabián, les agradezco por su rol de orientación, enseñanza y conocimiento a lo largo del trabajo y su buena disposición en todo momento. Agradezco también a mi profesor evaluador Oscar Seguel, por su confianza y apreciaciones rigurosas de este escrito, además a la profesora Loreto Canaves por su evaluación.

Agradezco a todas las manifestaciones de la vida que me tocó experimentar durante el trayecto de la tesis desde que egresé, a personas, situaciones, naturaleza, etc., por impulsar y atraer lo mejor que pudo haber pasado, para mi mayor bien y el de los que me rodean. Agradezco también a mi propia experiencia humana, por atreverse a sanar temores, perseverar, levantarse rápidamente para cambiar, responsabilizarme por mi trabajo, creer y valorar en mis propias capacidades y en mi esfuerzo personal, pues ha sido una verdadera experiencia de aprendizaje constante.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivo General</b> .....	<b>5</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>6</b>
<b>Área de Estudio</b> .....	<b>6</b>
<b>Materiales</b> .....	<b>7</b>
Datos del suelo y manejo .....	<b>7</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>8</b>
Diseño experimental .....	<b>8</b>
Evaluación de propiedades del suelo .....	<b>9</b>
Desprendimiento de C-CO <sub>2</sub> .....	<b>10</b>
Temperatura del suelo.....	<b>13</b>
Tasa de mineralización del carbono orgánico .....	<b>13</b>
Análisis de Datos .....	<b>14</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>Propiedades del suelo</b> .....	<b>16</b>
<b>Desprendimiento de C-CO<sub>2</sub></b> .....	<b>17</b>
Diferencias por tipo de manejo.....	<b>17</b>
Diferencias por intervalo horario.....	<b>19</b>
Actividad microbiológica .....	<b>23</b>

<b>Tasas de mineralización del carbono orgánico.....</b>	<b>24</b>
Diferencias por tipo de manejo.....	24
<b>Discusión final.....</b>	<b>25</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>29</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>34</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Reacciones implicadas en el proceso de incubación y titulación de las muestras. .....	<b>12</b>
<b>Cuadro 2.</b> Propiedades promedio del suelo (n = 3). .....	<b>16</b>
<b>Cuadro 3.</b> Correlación de Pearson entre el desprendimiento de C en los periodos diurno y nocturno y los promedios diarios de temperatura del suelo por cada tratamiento. ....	<b>21</b>
<b>Cuadro 4.</b> Ajuste del C-CO <sub>2</sub> a un modelo potencial y el índice de actividad microbiológica. ....	<b>23</b>



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de parcelas en estudio.....	<b>6</b>
<b>Figura 2.</b> Parcelas de estudio.....	<b>7</b>
<b>Figura 3.</b> Diseño muestral.....	<b>8</b>
<b>Figura 4.</b> Diagrama general dispositivo de incubación.....	<b>10</b>
<b>Figura 5.</b> Instalación del dispositivo de incubación.....	<b>11</b>
<b>Figura 6.</b> Contenido de agua (H), Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO).....	<b>17</b>
<b>Figura 7.</b> Promedio diario de la actividad microbiana bajo diferente manejo .....	<b>18</b>
<b>Figura 8.</b> Promedio horario por intervalo día/noche de la actividad microbiana.....	<b>20</b>
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de la actividad microbiana del suelo bajo distinto manejo y la temperatura del suelo en dos intervalos del día. ....	<b>22</b>
<b>Figura 10.</b> Desprendimiento de C acumulado real (colores claros) y ajustado (flechas oscuras) al modelo potencial propuesto por Lammermann y Weissmann.....	<b>23</b>
<b>Figura 11.</b> Tasa de mineralización del carbono orgánico (%). ....	<b>24</b>



## RESUMEN

Actualmente se promueve la importancia de rescatar el potencial de captura de carbono (C) en suelos con uso agrícola, para mitigar los efectos del cambio climático y revertir los procesos de degradación de los suelos; por ello es clave favorecer el mejoramiento y protección de la materia orgánica presente y la dinámica de los microorganismos. Se evaluó la actividad microbiana global medida *in situ* (0 – 5 cm) de un suelo tipo Mollisol (Serie Santiago), sujeto a dos sistemas de manejo: orgánico (TO), enmendado con compost y una capa de rastrojos superficial; y un sistema convencional (TC), en estado de barbecho y arado.

Se midió el contenido de agua del suelo, la materia orgánica por calcinación, densidad real, aparente y porosidad. La actividad microbiana se estimó por el método de respirometría con cámaras de incubación fijadas al terreno. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 6 repeticiones por tratamiento más dos controles; la variable respuesta fueron los mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>día<sup>-1</sup> emitidos durante 5 días de incubación. La actividad microbiana se identificó con la existencia o no de diferencias significativas entre cada tratamiento y entre intervalos del día y la noche, luego se realizó un ajuste a un modelo de predicción y una correlación con la temperatura del suelo. Finalmente, se calcularon las tasas de mineralización del carbono orgánico para cada parcela.

Las propiedades del suelo (a excepción del cálculo de densidades) y los desprendimientos de carbono a las 24 hrs, fueron mayores en TO que en TC ( $P \leq 0,05$ ), pero al comparar los valores de los intervalos diurno y nocturno, el sistema convencional emite mayor CO<sub>2</sub>. El modelo ajustado entregó un  $r^2$  de 0,9999 para TC y de 0,9997 para TO. Se encontraron diferencias significativas en las tasas de mineralización ( $P \leq 0,05$ ), con un nivel mayor en TC. Los resultados demostraron la variabilidad y la sensibilidad del sistema suelo frente al manejo y las variaciones en la temperatura del suelo. En conclusión la actividad microbiológica del tratamiento orgánico da cuenta de un mayor potencial para almacenar carbono en los estratos estables, en comparación al sistema de manejo convencional.

**Palabras clave:** dinámica microbiana, manejo de suelo, desprendimiento de C-CO<sub>2</sub>, secuestro de carbono, respirometría.

## ABSTRACT

In our present day it has been highly promoted the importance of rescuing the potential of carbon capture in soils used for agriculture, to mitigate the effects of climate change and revert the degradation process in the soils. Thus it is highly important to favor the improvement and protection of the organic material and microorganism dynamic. The global microbial activity was evaluated, it measured in-situ (0-5 cm) in a soil type Mollisol (Santiago series), under to two systems of management: Organic (TO) amended with compost and a layer of superficial stubble, and a conventional system (TC), in a state of fallow and plow.

The content of water in the soil was measured, the organic matter by calcinations, particle and bulk density and porosity. The microbial activity was estimated by the respirometry method with incubation chamber fixed to the ground. An experimental design was used completely randomized with 6 replicates per treatment plus 2 controls; the variable result was the mg C-CO<sub>2</sub> 100g<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup> emitted during the 5 days of incubation. The microbial activity was identified, with or without the existence of significant differences between each treatment and in intervals of day and night, both an adjustment of a model of prediction was performed and a correlation with the temperature of the soil were performed. Finally, the rates of mineralization of organic carbon for each parcel where calculated.

The properties of the soil (except for the calculation of density) and the releases of carbon in 24 hours, were higher in TO than in TC ( $P < 0,05$ ), but at the moment of comparing the values of the intervals of day and night, the conventional system emits more CO<sub>2</sub>. The adjusted system gave a R<sup>2</sup> of 0,9999 for TC and 0,9997 for TO. There was found significant differences in the rates of mineralization ( $P < 0,05$ ) with a higher level in TC. The results demonstrated the variability and the sensibility of the soil system, versus the management and variation in the soil temperature. In conclusion the microbiological activity of the organic treatment shows a higher potential for storing carbon in the stable strata, in comparison to the conventional system of management.

**Key words:** microbial dynamics, soil management, release of C-CO<sub>2</sub>, carbon sequestration, respirometry.

## INTRODUCCIÓN

El cambio de uso de la tierra para la agricultura corresponde a una de las causas de importantes alteraciones sobre la dinámica natural del sistema terrestre. Los suelos son manejados generalmente para maximizar los productos y ganancias a corto plazo, dejando de lado los impactos acumulativos generados sobre el medio ambiente como la desertificación, sequías o cambio climático, repercutiendo finalmente sobre las mismas actividades y el bienestar de la humanidad. Es por ello que la demanda de muchos países hoy en día es la de direccionar la agricultura hacia un desarrollo sostenible pero con un enfoque ecosistémico<sup>1</sup>, donde se tomen en cuenta tanto aspectos ecológicos y socioeconómicos como los procesos e influencias que ocurren entre ellos. De esta manera, el sector agropecuario puede incorporar mejoras en los sistemas productivos, con una mayor perspectiva en la toma de decisiones, asegurando los bienes a las futuras generaciones y mejorando la relación de intercambio con la dinámica y servicios que los ecosistemas naturales disponen (Rótolo y Francis, 2008).

Estudios realizados por la FAO (2002), declaran la importancia de rescatar el potencial de captura de carbono (C) en los suelos con uso agrícola, para mitigar los efectos del cambio climático y revertir los procesos de degradación de los suelos. La relevancia radica en que el uso del suelo agrícola ocupa cerca del 20% de los suelos del planeta y en éstos se encuentran los mayores depósitos de carbono (Allmaras et al., 1999). Bajo este escenario es posible promover la incorporación del secuestro de carbono atmosférico (C-CO<sub>2</sub>) en los Sistemas de Manejo Agrícola (SMA) y su posterior transformación y almacenamiento en sustancias estables del sistema terrestre, de esta manera poder contribuir en el funcionamiento de los componentes físico-químico y biológico del suelo (Frioni, 1990).

La MO se define como el conjunto de residuos de origen animal y/o vegetal en distintas etapas de descomposición acumuladas en el perfil del suelo, su presencia es vital para mantener un buen equilibrio de los procesos que ocurren en él (Varnero, 1994). En su composición se distinguen, una primera fracción lábil, cuyos materiales son fácilmente degradables y disponibles como fuente de energía a través del proceso de mineralización (oxidación de compuestos orgánicos sencillos) y una segunda fracción, húmica, más abundante y estable que la anterior, constituida por la acumulación coloidal de sustancias producto de las reacciones metabólicas, proceso conocido como humificación (Aguilera, 2000).

---

<sup>1</sup> Para mayor información sobre la visión ecosistémica y servicios ecosistémicos revisar Odum y Odum (2000).

Los microorganismos del suelo forman parte del componente biótico de la MO y juegan un papel central en el equilibrio biológico del suelo (Melero et al., 2005); dicho dinamismo se conoce como actividad microbiana, donde se utiliza el bagaje orgánico del medio como fuente de energía y carbono (Varnero, 1994). Los microorganismos desempeñan alrededor del 80 al 90% de las funciones edáficas principales de producción, filtración y degradación de sustancias, además del rol ecosistémico que cumplen en el ciclaje de nutrientes y flujos de energía según Garbeva *et al.* (2004, citado por Vallejo 2013).

El CO del suelo es el principal elemento que forma parte de la MO y de la biomasa de los microorganismos; representa un balance dinámico entre la absorción del material vegetal muerto y las pérdidas del mismo como C-CO<sub>2</sub> por efecto de la actividad microbiana en los procesos de mineralización de sustancias (Martínez *et al.*, 2008). Por lo tanto, el CO constituye uno de los pools de almacenamiento de carbono más importantes del sistema terrestre, que ha tomado relevancia dentro de la gama de servicios ecostémicos que sostiene el suelo, como la conservación de la diversidad de organismos edáficos, control de la erosión y provisión de nutrientes, entre otros (Batjes, 1996; Caride *et al.*, 2011).

Diversos factores se encuentran involucrados en la dinámica de los microorganismos y su relación con el CO, entre ellos: temperatura, pH, contenido de agua, nutrientes orgánicos, accesibilidad al sustrato, los que influyen directamente en la descomposición de los residuos frescos o compuestos orgánicos ya humificados y por tanto en los flujos de carbono (Jenkinson, 1992).

Los cambios en el contenido de MO producidos por los SMA se manifiestan, ya sea alterando los depósitos anuales de residuos como también los ritmos en que se descompone la MO (Jenkinson, 1992). De acuerdo a esto, la producción de CO<sub>2</sub> puede cambiar dependiendo de la cantidad y calidad del material orgánico aportado al suelo (Arrigo *et al.*, 2002). En esto las prácticas de manejo tienen mucho que aportar, sin embargo algunos sistemas que incluyen labranza convencional dejan el suelo generalmente en condiciones para ocasionar pérdidas de C-CO<sub>2</sub> en vez de capturarlo, debido a las modificaciones en la porosidad, flujo de gases y agua principalmente (Sánchez *et al.*, 2006; Mora, 1998). Por el contrario, prácticas relacionadas con el abonado orgánico o la cero labranza, tienen impactos positivos en cuanto a la estimulación de la vida microbiana y la producción de nutrientes (Franzluebbers y Arshad, 1997; Wander et al., 1995), lo que en el largo plazo lleva a una acumulación de CO en el suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Actualmente, las propiedades biológicas se aprueban como criterios importantes, tanto para valorar los sistemas de uso y manejo del suelo, como también para obtener información temprana (Zagal *et al.*, 2002) relativa a los procesos bioquímicos que ocurren en la MO frente a situaciones del ambiente y la dimensión de la vulnerabilidad de un sustrato en respuesta a las actividades de manejo ejercidas sobre él (Vallejo, 2013).

La respirometría o medición del flujo de CO<sub>2</sub> del suelo es una de las formas más conocidas de conocer la actividad microbiana en su conjunto y con ello las influencias dadas por las prácticas de manejo, las propiedades físico-químicas del suelo y el clima (Campbell *et al.*, 1992). Diversas investigaciones han trabajado la respiración microbiana del suelo basándose en la medición, a través de incubaciones *in situ* o en laboratorio, del desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> (Zagal *et al.*, 2002), lo que ha permitido abordar objetivos locales en cuanto a mejorar las prácticas de manejo agrícola en función de la estabilidad y cantidad de la MO presente, y objetivos globales en cuanto a conocer el potencial de emisión o captura de C en un suelo y las influencias a nivel ecosistémico sobre los ciclos de los nutrientes, GEI, flujos hidrometereológicos, entre otros (FAO, 2002).

En Chile actualmente se cuenta con escasa información sobre las tasas de emisión de sus GEI relativas al suelo con uso agrícola, y aunque sus emisiones no son significativas a nivel mundial, la vulnerabilidad de sus suelos es importante, por las altas tasas de desertificación y sequía. Según Barrera y Kremer (2013) se requieren generar parámetros en estas materias que permitan a actores sociales incorporar mejoras en los sistemas y procesos productivos, aumentar eficiencia en los SMA y mejorar la productividad y competitividad dentro del marco de la sustentabilidad.

Es por esta razón que el estudio realizado se enfocó en observar y caracterizar la actividad microbiológica de un suelo expuesta a variables ambientales, bajo dos sistemas de manejo contrastantes para visualizar el estado en el que se encuentra el suelo en cada caso, evaluar el sistema de manejo según resultados y comparar bajo qué condición se presentan las pérdidas o capturas del carbono.

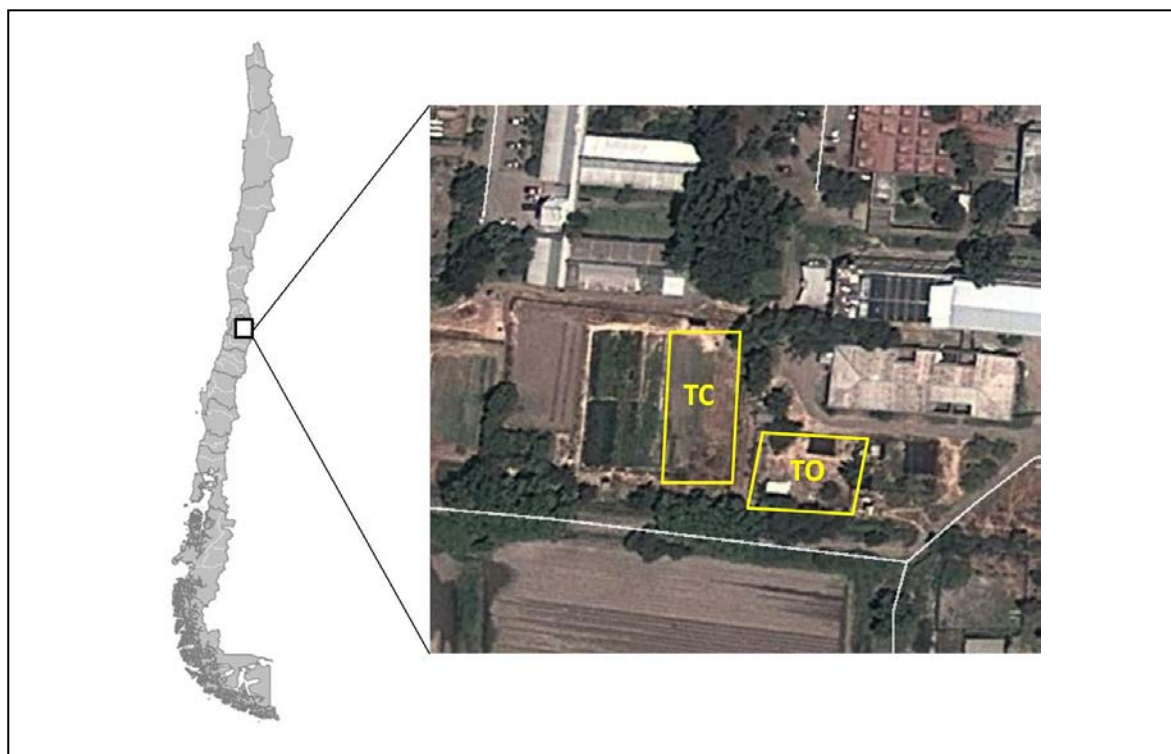
### **Objetivo General**

Evaluar la actividad microbiana global de un suelo bajo dos sistemas de manejo, orgánico y convencional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

Las parcelas donde se realizó el muestreo pertenecen al Campus Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile ( $33^{\circ}40'S$  y  $70^{\circ}38'O$ ), ubicada en la Comuna de la Pintana, Santiago (Figura 1). Los análisis de respirometría se realizaron en el Laboratorio de Reciclaje Orgánico de la Facultad.



**Figura 1.** Ubicación de parcelas en estudio. Los tratamientos se identifican como TC (convencional) y TO (orgánico).

El clima de la región es de tipo templado mesotermal, estenotérmico, mediterráneo, semiárido. Posee veranos secos y calurosos con una temperatura media máxima de  $28,8^{\circ}C$  e inviernos fríos, con una temperatura media mínima de  $3,5^{\circ}C$ . Las lluvias se concentran en invierno, con una media anual de 330 mm y un período seco de ocho meses (Santibáñez y Uribe, 1990).



## Materiales

### Datos del suelo y manejo

El suelo pertenece a la Serie Santiago, de origen aluvial, Familia franca gruesa sobre arenosa, esquelética, mixta, térmica de los Entic Haploxeroll (CIREN, 1996).

Los sistemas de manejo considerados como los tratamientos en el estudio fueron (Figura 2): orgánico (TO) y convencional (TC), cuyas características del estado y manejo son las siguientes:

- El TO posee material compostado de rastrojos de cultivos y una capa superficial de los mismos de al menos 5 cm no descompuesta totalmente, además el sitio recibe riegos esporádicos semanalmente y se caracteriza por el manejo sin incorporación de fertilizantes sintéticos ni labranza del suelo.
- En el TC se realizó labranza convencional con arado de discos, se cultivó tomates y continuación se dejó en barbecho por al menos dos años.



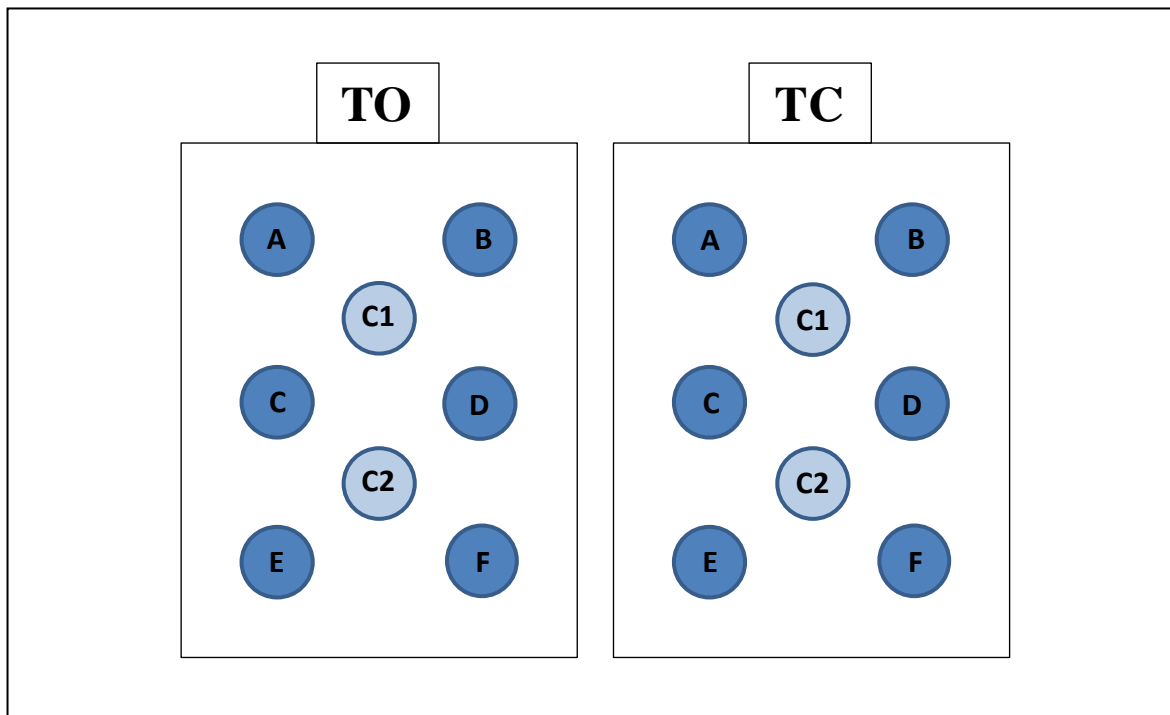
**Figura 2.** Parcelas de estudio, TO a la izquierda y TC a la derecha.

## Metodología

### Diseño experimental

El estudio correspondió a un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA), donde se esperó observar el estado y las diferencias de la actividad microbiana de un suelo bajo dos sistemas de manejo. Las incubaciones se realizaron entre el 25 de noviembre del 2013, finalizando el 10 de enero del 2014.

A nivel general (Figura 3) la unidad experimental fueron las muestras de suelo incubadas con 6 repeticiones (letras mayúsculas) incluyendo 2 controles por sitio (C1 y C2), cuyos tratamientos consistieron en el tipo de manejo dominante en cada parcela. Las variables respuestas fueron el desprendimiento de carbono en forma de gas carbónico (C-CO<sub>2</sub>) y las propiedades del suelo. Se consideraron como variables constantes, los 5 días de incubación y los intervalos durante el día y la noche; por último se utilizaron las temperaturas del suelo como variable a asociar.



**Figura 3.** Diseño muestral. De la letra A a la F representan las repeticiones, en tanto C1 y C2 corresponden a los controles del ensayo.

## Evaluación de propiedades del suelo

Se midieron las siguientes propiedades del suelo: contenido de agua, porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico (Sadzawka *et al*, 2006), densidad aparente, densidad real y porosidad (Sandoval *et al.*, 2012).

El cálculo de contenido de agua se realizó por el método de pérdida de masa, luego de secar las muestras en una estufa a 105°C hasta obtener peso constante. El contenido de agua se desprende de la siguiente fórmula:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} * 100 \quad (1)$$

Donde H corresponde al contenido de agua (%), P<sub>1</sub> (g) el peso de la muestra recolectada más la cápsula que la contiene, P<sub>2</sub> (g) la muestra seca más la cápsula (g) y P<sub>3</sub> (g) el peso de la cápsula sin muestra.

A partir del resultado anterior se determinó el factor de corrección por humedad (FH) para estandarizar los datos de desprendimiento:

$$FH = \frac{100 + \%H}{100} \quad (2)$$

El porcentaje de materia orgánica (MO) se determinó a través del método de pérdida por calcinación en una mufla a 600 °C, durante dos horas para eliminar la materia orgánica o sólidos volátiles. A continuación se obtuvo el porcentaje de carbono orgánico (% CO) de la muestra a través de las siguientes fórmulas:

$$\% MO = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3} * 100 \quad (3)$$

Donde P<sub>1</sub> es el peso (g) de la muestra seca más el crisol que lo contiene, P<sub>2</sub> el peso (g) de la muestra calcinada más crisol y P<sub>3</sub> el peso (g) del crisol sin muestra.

$$\% CO = \frac{\% MO}{1,724^2} \quad (4)$$

La densidad aparente se obtuvo por el método del cilindro de volumen conocido y la densidad real a través del método del picnómetro, ambos datos corregidos por humedad. La porosidad (P) se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

---

<sup>2</sup> Factor de Van Benmelen, para suelos y relaves (Jackson, 1964).

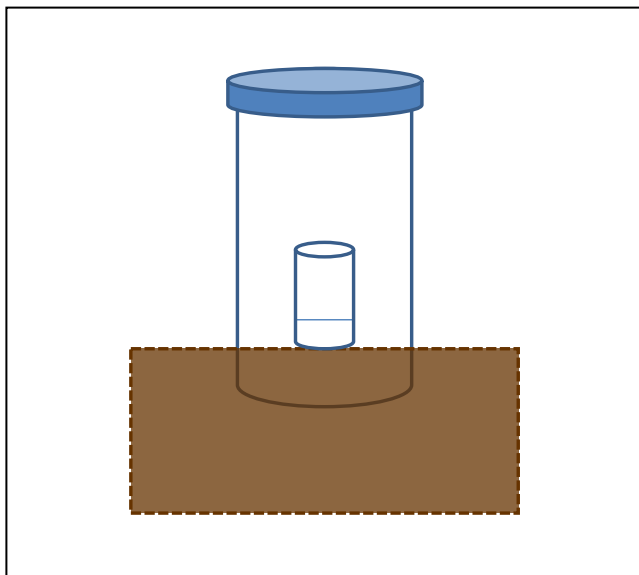
$$P = 1 - \frac{Da}{Dr} \quad (5)$$

Donde  $Da$  es la densidad aparente en ( $\text{g/cm}^3$ ) y  $Dr$  la densidad real en ( $\text{g/cm}^3$ ).

Estas propiedades de suelo se analizaron entre los meses de diciembre del 2013 y enero del 2014, a excepción de las densidades y porosidad, que se determinaron el mes de abril del año en curso.

### Desprendimiento de C-CO<sub>2</sub>

El ensayo para medir la actividad microbiana se realizó a través del desprendimiento de C-CO<sub>2</sub>, el cual consistió en una adaptación al método de respiración *in situ* de Rochette y Hutchinson (2005), donde se utilizó como dispositivo de incubación un cilindro de “PVC” con dimensiones de 20 y 10 cm de altura y diámetro respectivamente, el cual fue enterrado a una profundidad de 5 cm. El dispositivo se encontraba abierto en la base en contacto con la muestra y cerrado herméticamente en la cara hacia el cielo (Figuras 4 y 5). En el interior se agregaron 10 mL de hidróxido de sodio en un frasco de vidrio como trampa alcalina, para la captura del CO<sub>2</sub> desprendido por efecto de la actividad microbiana del suelo.



**Figura 4.** Diagrama general dispositivo de incubación.



**Figura 5.** Instalación del dispositivo de incubación, TO a la izquierda y TC a la derecha.

**Preparación del terreno:** los sitios se despejaron de grandes piedras, raíces y plantas superiores, para luego delimitar y proteger el espacio de agentes externos; luego los cilindros fueron ubicados aleatoriamente a una distancia de 50 cm entre ellos.

**Proceso de incubación:** el ensayo se realizó en tres semanas, de 5 días cada una (separadas entre ellas por 2 semanas aproximadamente). En la primera y segunda semana se midió en horario diurno, el desprendimiento de C para el TO y el TC respectivamente, aplicando en ambas, 3 incubaciones diarias de tres horas cada una (a las 9:00, 12:00 y 15:00 horas) sumando 9 horas diurnas por día y por tratamiento. La última semana se midió el desprendimiento nocturno en ambas parcelas al mismo tiempo, con 1 incubación diaria de 15 horas, comenzando a las 18:00 y finalizando a las 9:00 horas del día siguiente. Las soluciones de NaOH en el interior de los cilindros se trataron con una concentración 0,3 M para las incubaciones diurnas y 1 M para las nocturnas.

Se efectuaron dos controles, los cuales fueron cerrados herméticamente en ambas caras y ubicados en la superficie del suelo a la misma distancia de los demás dispositivos.

Este diseño se definió en función de las diferencias de material orgánico y de temperatura entre el día y la noche, con el fin de impedir la saturación del reactivo NaOH, además de tener en cuenta las condiciones operativas y económicas disponibles.

**Proceso de titulación:** después de cada incubación se retiraron los frascos con reactivo y el gas capturado, éstos más el control fueron valorados mediante titulación del álcali NaOH no carbonatado con ácido HCl 0,15 M para el caso diurno y HCl 1 M para el nocturno, previa adición de 5 gotas de Timolftaleína al 1% y la precipitación de los carbonatos en presencia de 2mL de BaCl<sub>2</sub> al 20%.

La titulación arrojó como resultado el valor de la cantidad de NaOH que no reaccionó con el CO<sub>2</sub>. El Cuadro 1 muestra las reacciones que describen el proceso:

**Cuadro 1.** Reacciones implicadas en el proceso de incubación y titulación de las muestras.

Proceso	Reacciones
- Durante la incubación in situ.	$\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- Precipitación del carbonato al adicionar BaCl <sub>2</sub> a la solución.	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{NaCl} + \text{BaCO}_3$ (precipitado insoluble).
- NaOH que no reacciona con CO <sub>2</sub> , reacciona con el BaCl <sub>2</sub> soluble.	$2\text{NaOH} + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{Ba(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$
- Neutralización de la reacción.	$\text{Ba(OH)}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

El gasto de HCl obtenido, corresponde en proporción a la mitad (1:2) del NaOH que no reaccionó para el horario diurno para el caso nocturno, corresponde a una proporción igual (1:1) dadas las concentraciones utilizadas. Por diferencia con la solución alcalina inicial (10 mL), se obtuvo el NaOH que reacciona con el gas carbónico, equivalente a la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendido en miligramos. Las relaciones utilizadas fueron:

- En incubación durante el día: 1 mL de NaOH 0,3 M equivale a 1,8 mg de C-CO<sub>2</sub>.
- En incubación durante la noche: 1 mL de NaOH 1 M equivale a 6 mg de C-CO<sub>2</sub>.

Los resultados de desprendimiento de C se expresaron de la siguiente manera:

1. Flujo de C-CO<sub>2</sub> por día y por hora: unidad que comúnmente se utiliza para expresar la respiración microbiana medida en condiciones de campo (García *et al.*, 2003; Lessard *et al.*, 2010):

$$A_c = \pi r^2 \quad (6)$$

$$CCO_{2F \text{ día}} = \frac{CCO_{2 \text{ in}}}{A_c} \quad (7)$$

Donde  $A_c = 0,0079 \text{ m}^2$  es el área del círculo de emisión correspondiente al suelo incubado, donde  $r$  es el radio del mismo,  $C\text{-CO}_2 \text{ in}$  el desprendimiento acumulado a las 24 horas ( $\text{mg} * \text{d}^{-1}$ ), resultado de la titulación y  $C\text{-CO}_2 \text{ F día}$  es el desprendimiento de C mineral expresado en la unidad final [ $\text{mg C-CO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{d}^{-1}$ ].

Se representó el flujo por hora para homogenizar la información por intervalo y comparar las diferencias entre una hora promedio del día y una de noche:

$$CCO_{2F\text{ hra}} = \frac{CCO_2\text{ in}}{A_c * x} \quad (8)$$

Donde “x” representa la cantidad de horas de incubación por intervalo, 9 horas para el horario diurno y 15 para el nocturno y  $C-CO_{2\text{ F hra}}$  es el desprendimiento de C mineral expresado en la unidad final [ $\text{mg C-CO}_2 * \text{m}^{-2} * \text{h}^{-1}$ ].

2. Flujo de  $\text{CO}_2$  por masa de suelo: en el cálculo se tomó en cuenta el volumen del cilindro y la densidad aparente del suelo de ambas parcelas. Estos resultados se emplearon además en los cálculos de las tasas de mineralización.

$$Vc_t = \pi r^2 * h \quad (9)$$

$$CCO_{2F\text{ mas}} = \frac{CCO_2\text{ in}}{D_a * V_c} * 100 \quad (10)$$

Donde  $D_a$  la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) del suelo en cada parcela,  $V_c = 392,5 \text{ cm}^3$  el volumen del cilindro de suelo incubado y  $C-CO_{2\text{ F mas}}$  es el desprendimiento de C mineral por masa de suelo expresado en la unidad final [ $\text{mg C-CO}_2 * 100 \text{ g de suelo}$ ].

### Temperatura del suelo

Se calculó la temperatura del suelo  $T_s$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) en función del promedio diario de las temperaturas del aire  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), las cuales se obtuvieron de la estación experimental del INIA La Platina, ubicada a una distancia de 400 metros del área de estudio. El algoritmo que lo describe es el siguiente (Santibáñez et al., 2010):

$$T_s = 5,202 * e^{0,0557 T_a} \quad (11)$$

### Tasa de mineralización del carbono orgánico

Se analizó la tasa a la cual se mineraliza el carbono orgánico a través de la siguiente ecuación (Frioni, 1990):

$$Tm = \frac{\sum CCO_2}{CO} * 100 \quad (12)$$

Donde  $T_m$  es la tasa en la cual se mineraliza el carbono orgánico,  $C-CO_2$  es el desprendimiento de carbono mineral acumulado en los 5 días de incubación (mg/100 g de suelo) y CO el contenido de carbono orgánico (mg CO/100 g de suelo).

### **Análisis de Datos**

**Tratamiento de resultados de C-CO<sub>2</sub>:** los datos de desprendimiento de C, al ser tomados en distintas fechas de evaluación y la existencia de similitudes de desprendimiento de C bajo un mismo tratamiento, los datos de las 3 semanas de incubaciones se ordenaron según lo equivalente a una semana, para ello se realizaron los siguientes procedimientos por cada uno de ellos:

- Obtención del promedio de las repeticiones por incubación.
- Suma de las incubaciones equivalente a un día completo (3 diurnas y 1 nocturna) para contrastar los desprendimientos de C.
- Promedio diario de una hora diurna y una nocturna para realizar el contraste entre tratamientos por intervalo.
- Suma de los 5 días completos de incubación, para obtener los datos de desprendimiento acumulado.

**Análisis estadístico:** con el objetivo de encontrar diferencias significativas en los puntos de análisis debido a los tratamientos presentes, se aplicaron pruebas estadísticas. En una primera instancia se esperó comprobar la normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos obtenidos en terreno. Si la comprobación fue efectiva, se aplicó t de student para dos muestras independientes ( $P < 0,05$ ), si no, se utilizó estadística no paramétrica con una prueba de Mann-Whitney ( $P < 0,05$ ) (Acuña, 2010).

Se esperaron encontrar diferencias significativas entre tratamientos, en los siguientes puntos de análisis:

- Contenido de agua, carbono orgánico, materia orgánica, densidad aparente y real.
- Desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> diarios
- Desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> promedio de una hora en los intervalos diurno y nocturno.
- Tasas de mineralización.

Para describir el estado en que se encuentra la actividad microbiana en función de las variables medidas, se utilizaron gráficos de caja con la media para el caso de la estadística paramétrica y la mediana para el caso contrario.

Luego para dar mayor consistencia a los valores de desprendimiento encontrados, se ajustó un modelo potencial propuesto por Lammermann y Weissmann (1924), citado por Faúndez (2005):



$$C = K * t^m \quad (13)$$

Donde C corresponde al carbono acumulado por la mineralización del carbono orgánico (en  $\text{mg } 100\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$ ),  $t$  es el tiempo en días,  $K$  es una constante de emisión al primer día en ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) y  $m$  es un parámetro de ajuste. Según este modelo, el producto de las dos últimas constantes ( $K * m$ ) determina el nivel de actividad microbiana global del suelo, de este modo se complementó la información de bioactividad efectuado a través de la medición del desprendimiento de C.

Finalmente se efectuó un análisis de correlación de Pearson ( $P \leq 0,05$ ) sobre las mediciones de desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> de los intervalos día/noche y las variaciones de temperatura del suelo. Para ello se tomaron en cuenta los datos de temperaturas promedio diarias que se midieron para cada semana de incubación en los horarios correspondientes.

El análisis estadístico se realizó usando el software “Minitab” y “Microsoft Office Excel 2007”.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades del suelo

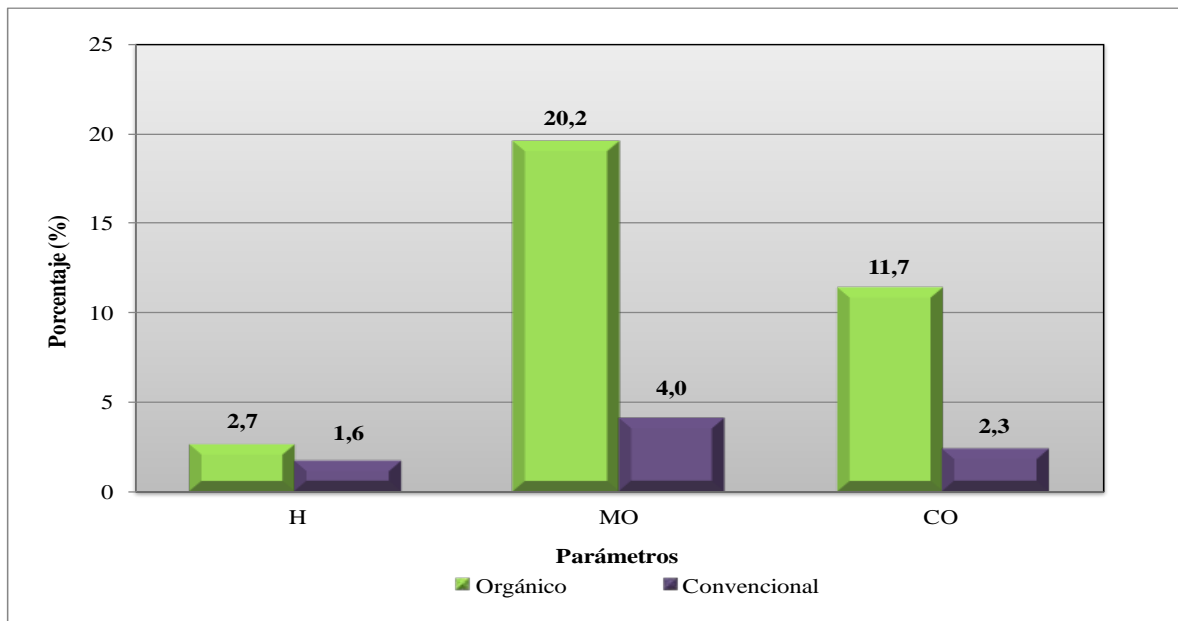
Las propiedades del suelo se presentan en el Cuadro 2 con su respectivo nivel de significancia. Los contenidos de agua, materia orgánica y carbono orgánico fueron más altos en el tratamiento orgánico que en el convencional. En cuanto a las densidades, se obtuvieron valores menores en el primer tratamiento con el consecuente mayor espacio poroso, en comparación con el segundo.

**Cuadro 2.** Propiedades promedio del suelo (n = 3).

Muestra	H (%)	MO (%)	CO (%)	Dr (g/cm <sup>3</sup> )	Da (g/cm <sup>3</sup> )	P (%)
O	2,6*	19,5*	11,3*	2,3	0,9*	60
C	1,6*	4,0*	2,3*	2,71	1,2*	53

O/ Orgánico, C/ Convencional, H/ Contenido de agua, MO/ Materia orgánica, CO/Carbono orgánico, Dr/ Densidad real, Da/ Densidad aparente y P/ porosidad. \*Valor significativo con un 95% de probabilidad.

Los valores y las diferencias se pudieron asociar al historial de manejo que cuenta cada parcela, en el TO el suelo con rastrojos compostados, retiene mejor la humedad y contiene mayor concentración de carbono orgánico debido al compost (Guerrero *et al.*, 2012), lo que se confirma con los valores de densidad aparente y real, donde la materia orgánica hace descender la densidad y estabiliza los agregados del suelo (Thompson y Troeh, 1998). Caso distinto sucede en el sitio en barbecho labrado, en el cual los resultados revelan las condiciones generadas por el descanso y abandono del suelo, en ausencia de un aporte continuo de material orgánico o algún tipo de protección a corto plazo de la MO en los dos años en que se mantuvo en barbecho (Aguilera, 2000). Por su parte, en la Figura 6 se presentan en forma gráfica las diferencias encontradas entre las tres primeras propiedades que estarían condicionadas por el tipo de tratamiento y que según Frioni (1990) se correlacionan con la actividad microbiológica global.



**Figura 6.** Contenido de agua (H), Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO) en muestras compuestas superficiales del suelo. Los valores sobre las barras muestran la mediana de las mediciones.

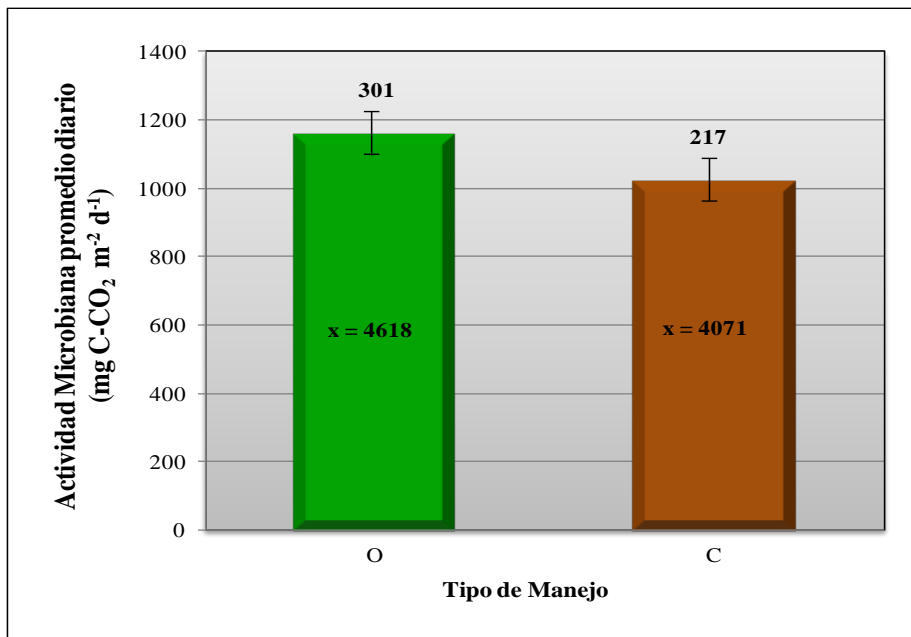
Los valores encontrados en el TC se acercan a lo expuesto por CIREN (1996), donde los valores de materia orgánica y carbono orgánico a nivel general en la Serie Santiago son del orden de 3,3 % y 1,9% en los primeros 15 cm respectivamente. Pérez *et al.* (2008), en un suelo con enmiendas orgánicas de compost, encontraron valores de materia orgánica de alrededor de 20% y aplicando el factor de Van Benmelen para suelos y relaves, el carbono orgánico tendría un valor de 11,6%, valores que se aproximan a lo encontrado para el caso orgánico. En cuanto al contenido de agua, en ambos tratamientos los valores son bajos debido a la época de muestreo.

### Desprendimiento de C-CO<sub>2</sub>

#### Diferencias por tipo de manejo

Los valores promedios de las repeticiones (Apéndice 1) por cada incubación diaria, tomando en cuenta las 24 horas del día, fluctuaron entre 4.618 mg de C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en el TO y 4.070 mg de C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para el TC. El desprendimiento acumulado a los 5 días de incubación fue en torno a 23.087 y 20.352 mg de C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para TO y TC respectivamente.

En el análisis de datos se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los desprendimientos entre los tipos de manejo (Figura 7); se pudo observar que los resultados indicaron una actividad microbiana mayor en el sitio con compost que lo alcanzado en el sitio en barbecho.



**Figura 7.** Promedio diario de la actividad microbiana bajo diferente manejo [ $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ]. Las barras muestran la media y desviación estándar de las mediciones. O = orgánico; C = convencional.

Los valores medidos se encontraron dentro del rango más bajo, en relación a los niveles registrados en incubaciones *in situ* bajo condiciones similares de diversos investigadores mencionados por García *et al.* (2003), los cuales alcanzan valores entre 4.000 a 8.000  $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

Las diferencias encontradas con la referencia, podrían deberse tanto por el dispositivo utilizado como por las características del suelo. En la metodología empleada por García *et al.* (2013) el dispositivo de incubación posee dimensiones distintas a las utilizadas en este estudio (30 cm de alto y 20 de diámetro); por otra parte, ocupa un trípode para sostener la trampa alcalina con el fin de evitar influenciar el flujo de gases por contacto con el suelo, disminuyendo parte del área de emisión. En lo relacionado a las características del suelo, según Robertson *et al.* (1997) los niveles de desprendimiento de C disminuyen si las condiciones de contenido de agua no son óptimas para la bioactividad; en el estudio ocurre que el contenido de agua es bastante bajo, por tanto este se podría considerar un factor limitante de la actividad microbiológica para ambos tratamientos.

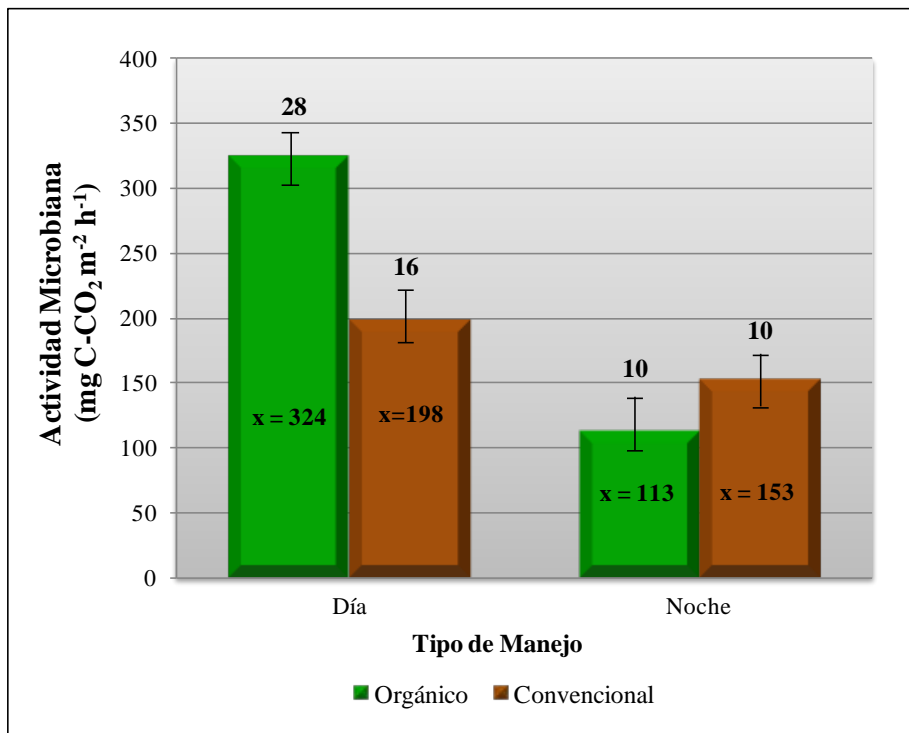
Jaurixje *et al.* (2013) mencionan que los resultados de actividad microbiana en un suelo bajo barbecho labrado, son altos en comparación a otros tipos de manejo como el orgánico y convencional, dado que el flujo de CO<sub>2</sub> se asocia al tiempo de descanso y a la influencia que produce la incorporación de materiales orgánicos de las especies de maleza añadidas al suelo al momento de la labranza, lo que junto con la entrada de mayor oxígeno en las capas superficiales, favorece las condiciones del sustrato para una mayor actividad. En tanto en el TC, si bien a los 5 días se encontraron desprendimientos menores que el TO, el flujo estimado se asocia a las mismas demostraciones de Jaurixje, en la que el TC logró equilibrar la dinámica de los procesos fisicoquímicos y sobrellevar la actividad microbiana a partir del material orgánico acumulado en tiempo de barbecho y la entrada de oxígeno durante la fase de arado.

Los mismos autores respecto a tratamientos orgánicos, rescatan la naturaleza y composición de la materia orgánica que origina diferencias en la disponibilidad del sustrato fácilmente degradable; en el caso de terrenos menos intervenidos, los suelos se encuentran mayormente estabilizados, por lo tanto con materiales de más difícil degradación para la biota del suelo, lo que lleva a encontrar menores desprendimientos. Sin embargo los resultados arrojaron que la parcela orgánica obtuvo una emisión mayor de carbono, condición que se explicaría a un nivel biológico, por la gran cantidad de material orgánico lábil dentro de los primeros 5 cm de suelo compuesto por los rastrojos aun no descompuesto, lo que suministraría energía suficiente para promover la mineralización del C.

### **Diferencias por intervalo horario**

Los valores promedios obtenidos por intervalo horario (Apéndice 2) fueron entre 324 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en periodo diurno y 113 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en el nocturno para el TO, en cambio para el TC se obtuvieron niveles que fluctuaron entre 197 y 152 mg C-CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> en fase diurna y nocturna respectivamente.

El análisis arrojó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en el desprendimiento entre tratamientos bajo un mismo intervalo (Figura 8), con una probabilidad del 95% de que los desprendimientos de C-CO<sub>2</sub> de cada parcela difieran por efecto del manejo, siguiendo la misma lógica del análisis anterior.



**Figura 8.** Promedio horario por intervalo día/noche de la actividad microbiana ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) bajo diferente manejo. Las barras muestran la desviación estándar de las mediciones.

De los resultados obtenidos se observó que si bien la bioactividad en ambos tratamientos desciende durante la noche, en horario diurno el TO tuvo una mayor actividad microbiana que el TC, no así en horario nocturno, donde el TC es mayor.

Se destacó la variabilidad de los datos entre tratamientos bajo un mismo intervalo, en el que hubo una mayor diferencia de C-CO<sub>2</sub> en el día que lo ocurrido en la noche, donde se pueden apreciar diferencias menores entre los dos sistemas de manejo. Según Martínez-García *et al.* (2013), la variabilidad podría estar influenciada por la falta de una cubierta vegetal que proteja la materia orgánica de las influencias del medio en el que se encuentra, por otro lado los suelos desnudos, se caracterizan por una respiración heterotrófica la cual varía en gran medida por su alta correlación con la temperatura del suelo.

**Relación con la temperatura del suelo:** Se midieron las temperaturas del suelo de los intervalos expuestos, la cual correlacionó positivamente en todas las categorías de desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> (Cuadro 3).

En el tipo de manejo orgánico la correlación presentó mayor correlación y significancia con la temperatura del suelo ( $P \leq 0,05$ ) que el tipo convencional en los dos intervalos estudiados.

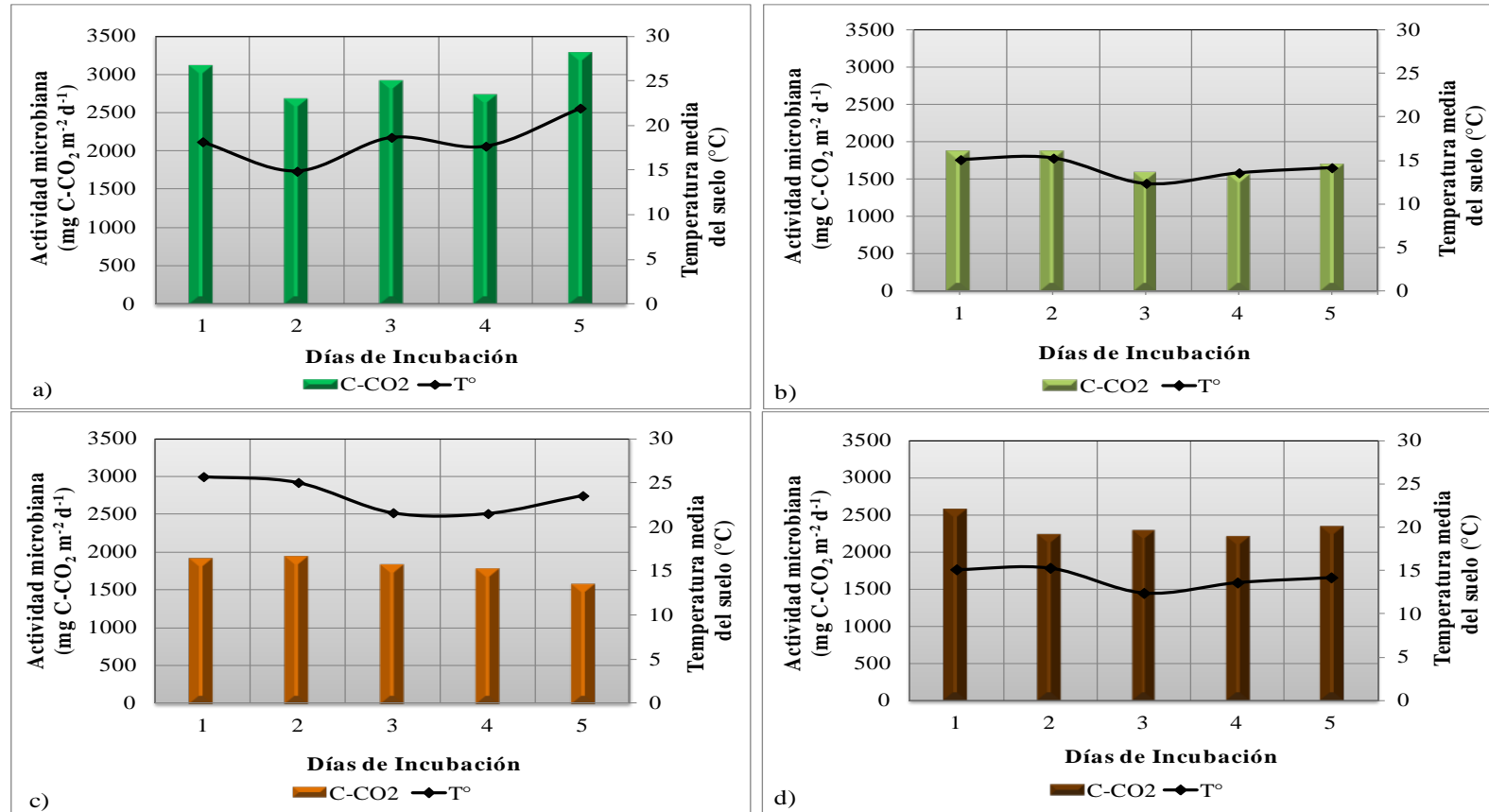
**Cuadro 3.** Correlación de Pearson entre el desprendimiento de C en los periodos diurno y nocturno y los promedios diarios de temperatura del suelo por cada tratamiento.

Categoría	Coeficiente de correlación (r)	Nivel de significancia (p-value)
OD	0,87	0,05*
ON	0,89	0,03*
CD	0,41	0,49
CN	0,39	0,52

OD/ Orgánico intervalo diurno, ON/ Orgánico intervalo nocturno, CD/ Convencional intervalo diurno y CN/ Convencional intervalo nocturno. \*Valor significativo con un 95% de probabilidad.

Los resultados en relación al tratamiento orgánico (Figura 9) coincidieron con lo mencionado por Martínez-García *et al.* (2013), quienes encuentran correlación significativa de los flujos de desprendimiento de C entre noche y día en un mismo tratamiento y lo asocia bastante a la temperatura del suelo. El mismo autor sostiene que el contenido de agua de un suelo, corresponde a uno de los factores que modulan la relación de la temperatura y los flujos de gas; y es posible que esta relación explique la no correlación encontrada en TC. Sinclair (1992) destaca también la respuesta exponencial que la actividad microbiana presenta frente a la temperatura edáfica, duplicándola con incrementos aproximados de 10 °C en la temperatura media diaria.

La dinámica de la actividad microbiana si bien decreció en ambos tratamientos durante la noche, se observó una notoria baja en el TO tomando valores por debajo del TC. Un supuesto que derivó de este comportamiento es que al encontrarse una gran cantidad de carbono orgánico en el sistema con compost, podría estar revelando que la tendencia del flujo de energía durante la noche, cambie hacia el conjunto de procesos de síntesis química y biológica del componente estable de la MO. Luego al llegar la tarde del día siguiente, la actividad microbiana tomaría fuerza nuevamente potenciado por la temperatura y la presencia de rastros.



**Figura 9.** Comportamiento de la actividad microbiana del suelo bajo distinto manejo y la temperatura del suelo en dos intervalos del día. El gráfico a) OD = orgánico diurno, b) ON = orgánico nocturno, c) CD = convencional diurno y d) CN = convencional nocturno.



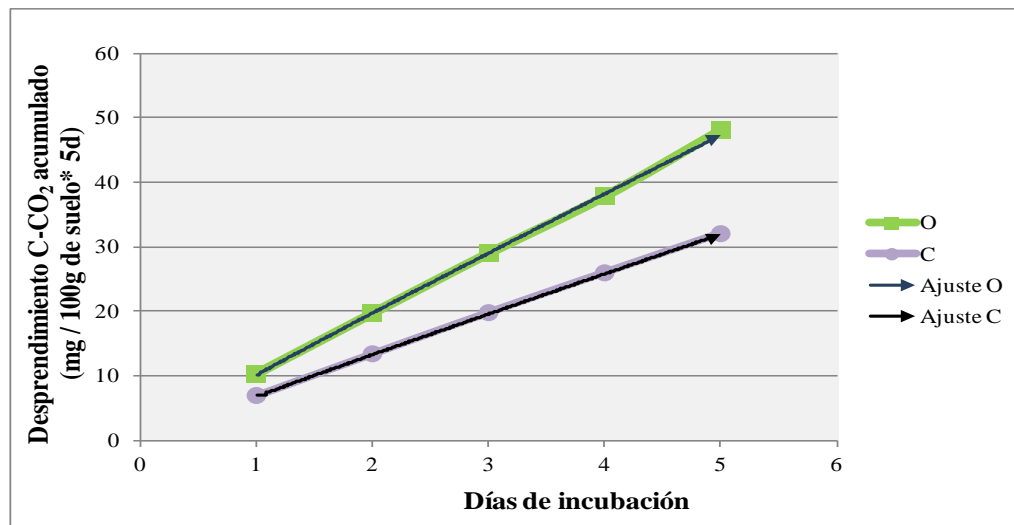
### Actividad microbiológica

El Cuadro 4 muestra los valores de las constantes K y m de las ecuaciones resultantes del ajuste al modelo potencial propuesto por Lammermann y Weissmann (1924, citado por Faúndez, 2005), y la cuantificación de la actividad microbiana producto de las constantes encontradas y el coeficiente de determinación del ajuste para los tratamientos en estudio.

**Cuadro 4.** Ajuste del C-CO<sub>2</sub> a un modelo potencial y el índice de actividad microbiológica.

Tratamiento	Ecuación de ajuste modelo potencial	Actividad microbiológica K * m (mg/100gs)	R <sup>2</sup>
Orgánico	$y = 10,234 * x^{0,952}$	9,7	0,9997
Convencional	$y = 6,955 * x^{0,95}$	6,6	0,9999

Los resultados de actividad microbiológica se acercan a lo encontrado por Faúndez (2005) para suelos enmendados con lodos compostados y sin condicionar, con índices de actividad microbiológicas que van desde 2,6 hasta 8,6 para suelos ubicados en las regiones V, VI y VII. La actividad microbiológica global de los sistemas de manejo, entregada por el producto entre las constantes K y m se presentó en mayor magnitud en TO que TC, lo que confirmó el análisis de actividad microbiana global medida por desprendimiento anteriormente efectuado (Figura 10).



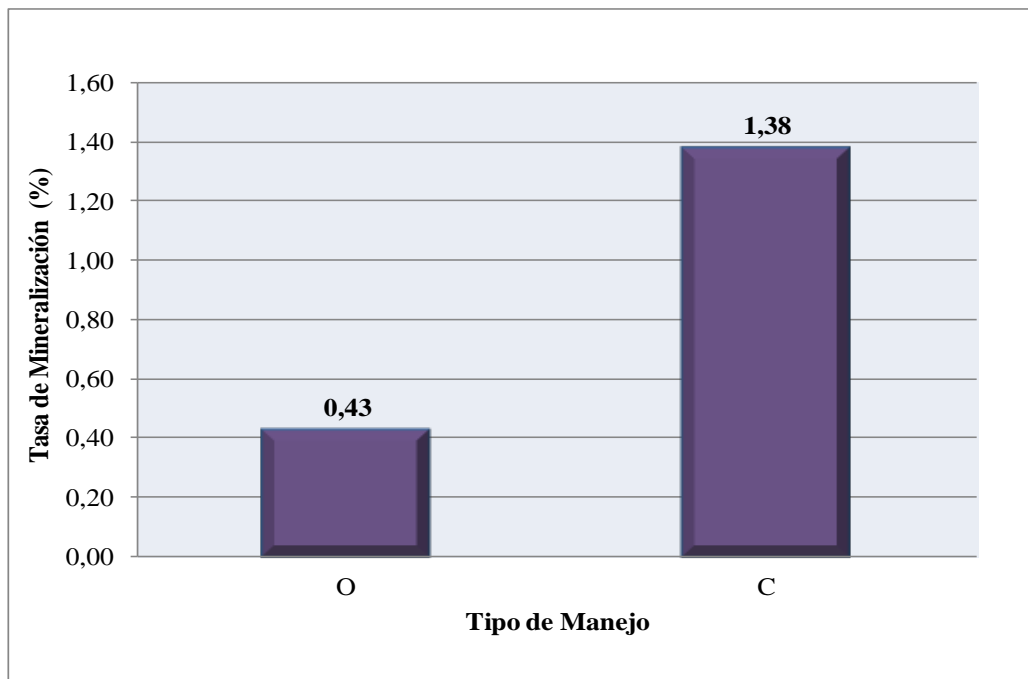
**Figura 10.** Desprendimiento de C acumulado real (colores claros) y ajustado (flechas oscuras) al modelo potencial propuesto por Lammermann y Weissmann (1924),

citado por Faúndez (2005), a los 5 días de incubación. O = manejo orgánico C = manejo convencional.

### Tasas de mineralización del carbono orgánico

#### Diferencias por tipo de manejo

Las tasas de mineralización del carbono orgánico fueron 0,43 % para TO y 1,38 % para TC a los 5 días de ser incubadas las muestras. Hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los datos, por lo tanto las diferencias en la tasa de mineralización se deben al tipo de manejo con una probabilidad del 95%, donde el carbono orgánico se mineraliza más rápidamente en el sitio convencional que en el orgánico (Figura 11).



**Figura 11.** Tasa de mineralización del carbono orgánico (%). Los valores sobre las barras muestran la tasa a la que se mineraliza el CO finalizados los 5 días de incubación. O = Orgánico; C = Convencional.

Guerrero (2012) sostiene que dentro de suelos con compost las tasas de mineralización son menores debido a la menor cantidad de carbono disponible para los microorganismos, por el fuerte grado de estabilidad que proporciona. Se dedujo de los resultados por tanto, que la diferencia entre las tasas de mineralización entre los tratamientos, se debe al tipo de material mineralizable en las fracciones lábiles de la MO. La velocidad a la que se descomponen los residuos en TC es mayor que en TO, lo que explica que el tipo de

material que compone el primero (material lábil) podría ser más susceptible de ser transformado a C-CO<sub>2</sub> que el segundo (materiales recalcitrantes).

Por otro lado, según FAO (2002) el aumento de la aireación y los desequilibrios al que son sometidos los suelos por la labranza son los principales factores que estimulan la mineralización de la materia orgánica. La desprotección de los macro y micro agregados, la mayor disponibilidad de oxígeno luego de la aradura y con ello la disminución de los contenidos de agua, induce la acción de los microorganismos, produciéndose las pérdidas de C-CO<sub>2</sub> y la consecuente disminución del potencial de captura, en desmedro de la acumulación de fracciones resistentes, por ende de la estabilidad del suelo en el tiempo. En el TC ocurre una situación similar, describiendo un suelo sensible a ser degradado si no se integra en el manejo el resguardo de la materia orgánica y el aporte de nuevas fuentes de carbono orgánico. En el TO en cambio se rescata el papel y la importancia de los rastrojos, el compostaje y el manejo sin labranza en la protección de la MO, sobre todo en la reducción de la tasa de descomposición, lo que favorece la disminución de las pérdidas de carbono a largo plazo (Morón, 2013).

### **Discusión final**

La comparación entre tratamientos, en cuanto al contenido de carbono orgánico, actividad microbiana y tasa de mineralización, constituyó información sobre el balance del flujo de carbono, la dinámica biológica y las condiciones en las que se encuentra el suelo, según el manejo que domina en cada parcela.

Según Morón (2013), en los sistemas agrícolas, las entradas de C en el suelo se encuentran dados por los rastrojos y raíces, mientras que las salidas son las pérdidas por erosión y la mineralización (C-CO<sub>2</sub>). Los rastrojos cumplen una función clave en el balance de carbono, ya que inducen la actividad microbiana y al mismo tiempo promueven la retención en el tiempo del carbono y otros nutrientes, confiriendo protección al suelo. Menciona además que las necesidades de los microorganismos se verían cubiertas dependiendo de la cantidad de C en los rastrojos presentes y la tasa de humificación de un suelo. El manejo de los rastrojos por tanto pasa a ser relevante, pudiendo ser incorporados al suelo, como en el arado convencional, o mantenidos en la superficie, como es el caso del manejo de siembra directa (sin aradura). La efectividad de conservar un equilibrio en el primer caso depende mucho del tipo de material orgánico, la humedad y de la textura de un sustrato que proteja al suelo desnudo y labrado; en el segundo, el suelo no es intervenido y los mismos rastrojos protegen la materia orgánica de la erosión u otros agentes del ambiente y se reducen las tasas de mineralización. Esta información podría asociarse al estudio efectuado, dadas las características de manejo que poseen cada parcela, donde los rastrojos pudieran estar cumpliendo un rol importante en la conservación de la actividad microbiana del suelo y protección del material estable.

La existencia de mayor porcentaje de CO en el tratamiento orgánico, junto con una mayor actividad microbiológica medida como desprendimiento de C-CO<sub>2</sub> y una menor tasa de mineralización en comparación con TC, suministró información sobre la posibilidad de que el sistema esté en equilibrio en cuanto a balance de carbono, pues tendría suficiente material tanto para los procesos generadores de energía (mineralización) proporcionados por los rastros, como de formación de suelo (humificación) debido a la capacidad de retener el carbono orgánico, intensificados por las enmiendas de compost. Por tanto las prácticas de manejo realizadas sobre TO, tuvieron un efecto positivo en cuanto a proteger y asegurar la acumulación de la MO y favorecer los procesos de auto regulación del suelo,

En el tratamiento convencional, a pesar de que posee características diferentes, la actividad microbiana logra un equilibrio en la mantención de su dinámica, a través de la incorporación de los rastros en la labranza y al tiempo en barbecho, sin embargo posee un gasto de energía más alto que TO debido a una tasa de mineralización mayor. Se evaluó por tanto que este tipo de manejo, no estaría aportando realmente a la permanencia y funcionalidad del sistema, debido a que demostró mayor velocidad de pérdidas de C-CO<sub>2</sub> frente a la falta de factores que promuevan la captura, por lo demás tendría una vulnerabilidad mayor a la erosión de lluvias y viento por la condición de suelo desnudo.

Los valores de desprendimiento de C asociados a los ciclos de día/noche, pudieron dar perspectiva del funcionamiento microbiológico diario y de su grado de dependencia con las variaciones de temperatura y condiciones de humedad, bajo las condiciones de un manejo determinado. Por lo tanto, se confirmó que el tipo de manejo influye en el proceso natural de mineralización del carbono, ya que las características que aportan cada sistema de manejo intensificarían la susceptibilidad de ser afectado por agentes externos, como temperatura y humedad del suelo y posiblemente disminuyendo su capacidad de resiliencia en el tiempo. Bajo este argumento, el tratamiento convencional se vería mayormente afectado por el manejo en sus ciclos diarios, que el tratamiento orgánico, el cual logra mantenerse a sí mismo.

En cuanto a potencial de captura se refiere, el estudio contempló que el sistema de manejo orgánico se encontraría mejor preparado para almacenar C en el suelo y al mismo tiempo mantener las condiciones y propiedades del suelo, la conservación de la vida microbiana, los contenidos de materia orgánica y la productividad, que el tipo convencional.

Desde una perspectiva macro, la capacidad de secuestro de carbono podría convertirse en un objetivo o estrategia de manejo, en el cual la evaluación de la actividad microbiana sea un indicador de cuán estable se encuentra un suelo bajo la acción de las prácticas de manejo y los efectos sobre el ciclo del carbono global. Esta perspectiva podrían aportar en los cambios que se requieren en la agricultura tradicional, a efectos de disminuir los procesos erosivos, recuperar suelos degradados, tomar en cuenta las tasas de emisión de gases (CO<sub>2</sub>

en este caso) y mineralización de sustancias. De esta manera la investigación puede aportar una mayor visión de los procesos naturales, las influencias e intercambios que se generan con el sistema suelo e información relevante para tomar decisiones que beneficien a la sociedad, su economía y los ecosistemas naturales.

Se sugiere indagar sobre la visión sistémica o de agroecosistemas, en específico en la evaluación de los servicios ecosistémicos que funcionan en el suelo, en cuanto a la conservación de la biodiversidad, control de la erosión, provisión de nutrimentos, balance del ciclo del carbono, entre otros; en definitiva, tomar conciencia de que los esfuerzos de funciones y procesos, organismos del suelo, flujos de energías, entre otros, mantienen y conectan los ecosistemas naturales, de los cuales el hombre se beneficia. La evaluación y valoración de estos servicios ecosistémicos ofrecen herramientas que posibilitan la generación de estrategias de manejo para la agricultura acordes a la dinámica de los procesos naturales, sin dejar de lado la producción a largo plazo y a las generaciones futuras (Rotoló y Francis, 2008; Daily, 1997).

## CONCLUSIONES

La actividad microbiana global se encuentra en mayor medida en un tratamiento orgánico caracterizado por enmiendas de compost, una capa de rastrojos en los primeros 5 cm y sin actividad de labranza, que un tratamiento convencional con un suelo desnudo y en barbecho por dos años previa aradura.

Dadas las características aportadas en cada caso, el sistema de manejo orgánico asegura una mayor acumulación de la materia orgánica por el alto porcentaje de carbono orgánico en los estratos estables además de una mayor actividad microbiana junto con una menor tasa de pérdida de carbono en forma de  $\text{CO}_2$ , da cuenta de un mayor equilibrio biológico y potencial de secuestro de carbono en el sistema suelo, respecto al tipo de manejo convencional que tiene una tendencia a generar pérdidas de  $\text{C-CO}_2$ .

El tipo de manejo influye en la bioactividad dependiente de la temperatura del suelo y condiciones de humedad durante los ciclos del día y la noche, puesto que altera los niveles de mineralización o retención del carbono, poniendo en riesgo su capacidad de autorregulación en el tiempo.

Finalmente se destaca como factor determinante de la dinámica biológica del suelo, la doble funcionalidad que los rastrojos podrían estar aportado en ambas condiciones de estudio: propiciar la actividad microbiológica y contribuir con la capacidad de retención del carbono en el tiempo.

**BIBLIOGRAFÍA**

Acuña, E. 2010. La Prueba de Mann-Withney para dos muestras independientes, (cap. 11, pp. 311-313). En: Análisis estadístico de datos usando Minitab. Tercera edición. [En línea]. Puerto Rico: Depto. de Matemáticas, Universidad de Puerto Rico. Recuperado en: <<http://math.uprag.edu/cap11.pdf>> Consultado el: 3 de abril 2014.

Aguilera, S. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. (Bol. N° 14). Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 8p.

Allmaras, R.; H. Schomberg; J. Douglas and TH. Dao. 1999. Conservation tillage's unforeseen advantage. *Recursos Engineering and Technology for a Sustainable World* 6: 7-8.

Arrigo, N. M.; M. P. Jimenez; D. Effron y R. Defrieri. 2002. Carbono de respiración de un suelo forestal y su relación con la calidad de la hojarasca. *Agricultura Técnica* 62(2): 331-338.

Barrera, D. y M. Kremer. 2013, abr. Chile y su agricultura en el contexto global de emisiones de gases (Infor.), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Santiago, Chile: ODEPA. 7p.

Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.

Campbell, C.A.; S.A. Brandt; V.O. Biederbeck; R.P. Zentner y M. Schnitzer. 1992. Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 72:403-416.

Caride, C.; J. Paruelo y G. Piñeiro. 2011. Manejo agrícola y secuestro de carbono (cap. 20, pp. 461-481). En Laterra, P.; E. Jobbagy y J. Paruelo (ed.). Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 740p.

CIREN. 1996. Estudio agrológico Región Metropolitana. Descripciones de suelos, Materiales y símbolos. (Doc. Tec. N° 115), Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago, Chile. 425 p.

Daily, G. 1997. Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems. [En línea]. Washington D.C., Estados Unidos: Island Press. 392p. Recuperado en: <[http://books.google.cl/books/about/Nature\\_s\\_Services.html?id=JyxZbqO3xq0Candredir\\_esc=y](http://books.google.cl/books/about/Nature_s_Services.html?id=JyxZbqO3xq0Candredir_esc=y)> Consultado el: 6 de abril 2014.

FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. (Inf. Tec. N°96), Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma: FAO. 61p.

Faúndez, P. 2005. Actividad microbiológica global en suelos acondicionados con biosólidos cloacales frescos y compostados con residuos forestales. [En línea]. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención Manejo de Suelos y Agua. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 61h. Recuperado en: <[www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/faundez\\_p/sources/faundez\\_p.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2005/faundez_p/sources/faundez_p.pdf)> Consultado el: 27 de enero 2014.

Franzlubbers, A. y M. Arshad. 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 1382-1386.

Frioni, L. 1990. Ecología microbiana del suelo. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República. 519p. (Colección reencuentro N°8).

García, C.; F. Gil; T. Hernandez y C. Trasar (Eds.). 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. [En línea]. Murcia, España: Ediciones Mundi-prensa. 371p. Recuperado en: <<http://books.google.cl/books?id=p9yfvDILqEACandprintsec=frontcoverandhl=es#v=onepageandqandf=false>> Consultado el: 6 de abril 2014.

Guerrero-Ortiz, L.; R. Quintero-Lizaola; V. Espinoza-Hernández; G. Benedicto-Valdés y M.J. Sanchez-Colín. 2012. Respiración de CO<sub>2</sub> como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus. *Revista Terra Latinoamericana*, 30: 355-362.

Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos. Barcelona, España: Ediciones Omega, S. A. 662p.

Jaurixje, M.; D. Torres; B. Mendoza; M. Henríquez y J. Contreras. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1): 47-56.

Jenkinson, D. 1992. La materia orgánica del suelo: evolución. (cap 18, 595-640pp.). En: Wild, A. Condiciones del suelo y desarrollo y desarrollo de las plantas según Russel. [En línea]. Undécima edición. Madrid, España: Longman Group UK Limited 1998. Recuperado



en:

<<http://books.google.cl/books?id=gE6x5iIuhGYCandprintsec=frontcover#v=onepageandqandf=false>> Consultado el: 20 de enero de 2014.

Lessard, R.; D. Gignac y P. Rochette. 2010. El ciclo del carbono: Midiendo el flujo del CO<sub>2</sub> del suelo. [En línea]. Niagara Falls, NY: Green teacher, education for Planet Earth. Recuperado en: <http://www.greenteacher.com/article%20files/elciclo-delcarbono.pdf>. Consultado el: 7 de abril 2013.

Martínez, E.; J. Fuentes, y E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1): 68-96.

Martinez-García, E.; F.R. López-Serrano; E. Rubio; T. Dadi; M. Andrés-Avellan; F.A. García-Morote. *et al.* 2013. El flujo de CO<sub>2</sub> del suelo y sus variaciones espaciales y temporales en un monte mixto de *Pinus pinaster Ait.* y *Quercus ilex L.* (pp. 1 - 13). En: Congreso Forestal Español. (6°, 10-14 junio de 2013, Vitoria-Gasteiz, España). Actas. Albacete, España: Sociedad española de ciencias forestales. 13p.

Mendiara, S. 2012. Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. Trabajo Final de Carrera Ingeniería Técnica Agrícola, Especialidad de Industrias Agrarias y Alimentarias. Barcelona, España: Escola Politècnica Superior, Universitat de Vic. 82h.

Melero, S.; J.C.R. Porras; J.F. Herencia y E. Madejon. 2005. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. *Soil and Tillage Research*, 90(2): 162-170.

Mora, J. 1998. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Revista Luna Azul*, 3(1):1-6.

Morón, A. 2013. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Sección Suelos INIA La Estanzuela. 20p.

Odum, H. y Odum, E. 2000. The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems* 3(1):21-23.

Pérez, A.; C. Céspedes y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(4): 10-29.

Robertson, G.; K. Klingensmith; M. Klug; E. Paul y J. Crum. 1997. Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications* 7 (1): 158-170.

Rochette, P. y N. Hutchinson. 2005. Measurement of soil respiration in situ: Chamber techniques, (pp. 247-286). En: Hatfield, J. y J.M. Baker (eds.). *Micrometeorology in agricultural systems*. N° 47. Madison, WI: American Society of Agronomy. 584p.

Rojas, L. 1996. Gran enciclopedia didáctica de las tareas escolares. Santiago, Chile: Cantaclaro. 496p.

Rótoló, G. y C. Francis. 2008. Los servicios ecosistémicos en el “corazón” agrícola de Argentina. Ediciones INTA Regional Santa Fe. *Miselánea* N°44, 24p.

Sánchez, M.; R. Adriana; J. Pérez; O. Zúñiga y J. Gascó. 2006. Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agron*, 55(4): 7-12.

Sadzawka, R.; M.A. Carrasco; R. Grez; M.I. Mora; H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. (Doc. Tec. N°34). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile: INIA. 164p.

Sandoval, M., Dörner, J., Seguel, O., Cuevas, J., Rivera, D. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. (Doc. Tec. N°5) Universidad de Concepción, Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán, Chile: UDEC. 80 p.

Santibáñez, F. y J. Uribe. 1990. Atlas agroclimático de Chile. Regiones V y Metropolitana. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Santibáñez, P.; Caroca, C.; Santibáñez, F.; Varnero, MT. 2010. Estimación del potencial térmico de producción de biogás en Chile. En: Congreso Sociedad Chilena de Fruticultura (11<sup>vo</sup>, septiembre de 2010, Santiago, Chile). Santiago, Chile: Sociedad Chilena de Fruticultura.

Sinclair, T. 1992. Mineral nutrition and plant growth response to climate change. *Journal of Experimental Botany*, 43 (8):1141-1146.

Thompson, L. y F. Troeh. 1998. Los suelos y su fertilidad. [En línea]. Cuarta edición. New York, USA: Reverté. 649p. Recuperado en: [http://books.google.cl/books?id=AegjDhEIVAQCanddq=Los+suelos+y+su+fertilidadandhl=esandsource=gbs\\_nav-links\\_s](http://books.google.cl/books?id=AegjDhEIVAQCanddq=Los+suelos+y+su+fertilidadandhl=esandsource=gbs_nav-links_s) Consultado el: 12 de mayo 2014.

Vallejo, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1): 83-99.

Varnero, M. T. 1994. El suelo como sistema biológico. En: Suelos una visión actualizada del recurso. Universidad de Chile, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, Dpto. de Ingeniería y Suelos. Publicaciones Misceláneas Agrícolas n°38, Santiago, Chile. 345 p.

Wander, M.; D. Hedrick; D. Kaufman; S. Traina, et.al. 1995. The functional significance of the microbial biomass in organic and conventionally managed soils. *Plant and Soil*; 170, 87-97.

Zagal, E.; N. Rodríguez; I. Vidal y L. Quezada. 2002. Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distintos manejo agronómico. *Agricultura Técnica*, 62(2): 297-309.

## APÉNDICES

**Apéndice I:** Desprendimiento de C acumulado correspondiente a una semana promedio por día en cada tratamiento.

Días de Incubación	C-CO <sub>2</sub>			
	TO		TC	
	-- (mg/m <sup>2</sup> d) --	-- (mg/100gs) --	-- (mg/m <sup>2</sup> d) --	-- (mg/100gs) --
Lunes	1235	10,3	1104	7,0
Martes	2364	19,7	2131	13,4
Miércoles	3479	29,0	3144	19,8
Jueves	4542	37,9	4123	26,0
Viernes	5772	48,1	5088	32,1

T.O./ Tratamiento Orgánico, T.C./ Tratamiento Convencional. \*Se obtuvo el promedio de las repeticiones por cada incubación, luego los datos de cada intervalo fueron acumulados por día.

**Apéndice II:** Desprendimiento de C promedio por hora, por intervalo del día en cada tratamiento.

Días de Incubación	C-CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>2</sup> h)			
	TO		TC	
	-- D --	-- N --	-- D --	-- N --
Lunes	343	124	209	170
Martes	296	124	211	147
Miércoles	321	105	200	150
Jueves	301	103	194	145
Viernes	361	111	173	154

T.O./ Tratamiento Orgánico, T.C./ Tratamiento Convencional, D/ Diurno y N/ Nocturno. \*Se obtuvo el promedio de las repeticiones por cada incubación, luego se obtuvo el promedio correspondiente a 1 hora por cada intervalo diario.