



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Departamento de Química Inorgánica y Analítica

Laboratorio de Química y Bioquímica de Suelos

**“EFECTOS EN ACTIVIDAD RESPIRATORIA Y COMPONENTES DE
LA MOS DE LOS SUELOS ORGÁNICOS PROVOCADOS POR
DIFERENTE ROTACIÓN DE CULTIVO Y ADICIÓN DE COMPOST”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

CRISTIAN ANTONIO CÉSPEDES PÉREZ

PROFESOR PATROCINANTE:

Gilda Valeria Borie Biagini

DIRECTOR DE TESIS:

Gilda Valeria Borie Biagini

SANTIAGO-CHILE

2008

**A mi familia, por su enorme apoyo y
amor...**

**Agradecimientos a la profesora Gilda Borie,
por su gran apoyo y guía en esta tesis...**

**Agradecimientos a Fondecyt por el apoyo económico entregado al proyecto
N° 1060372 que hizo posible la realización de esta Tesis.**

ÍNDICE	Pág.
Resumen.....	7
Summary.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Suelos seleccionados.....	16
3.2 Metodología de Análisis.....	16
3.2.1 Fraccionamiento de la Materia Orgánica del suelo.....	16
3.2.2 Determinación del Carbono y Nitrógeno total en suelo.....	17
y en fracciones orgánicas estables (ácido húmico, ácido fúlvico, humina)	
3.2.3 Determinación de Hidratos de Carbono por el Método de la Antrona.....	18
3.2.3.1 Hidratos de Carbono Libres.....	18
3.2.3.2 Hidratos de Carbono Totales.....	18
3.2.4 Determinación de Carbono Biomásico.....	20
3.2.5 Determinación del Balance de Carbono.....	21
3.2.6 Deshidrogenasa.....	21
3.2.7 Determinación de Nitrógeno Inorgánico en forma de Nitrato y Amonio....	22
3.2.8 pH.....	22
3.2.9 Humedad.....	22
3.2.10 Capacidad Máxima de Retención de agua (WHC).....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Presentación y validez de los datos.....	23
4.2 Propiedades generales de los suelos.....	24
4.3 Capacidad Máxima de Retención de agua (WHC).....	25
4.4 Contenido de Hidratos de Carbono Lábilés.....	26
4.5 Contenido de Hidratos de Carbono Totales.....	26
4.6 Rendimiento de extracción materia orgánica y pesos por fracción.....	27

4.7 Contenido porcentual de Carbono en las fracciones orgánicas estables....	28
4.8 Balance de Carbono.....	29
4.9 Contenido de Nitrógeno Inorgánico (NO_3^- , NH_4^+).....	31
4.10 Contenido porcentual de Nitrógeno en las fracciones orgánicas estables..	32
4.11 Balance de Nitrógeno.....	33
4.12 Deshidrogenasa (DH).....	34
4.13 Biomasa.....	35
4.14 Respiración.....	36
4.15 Coeficiente Metabólico (Q_{CO_2}).....	37
5. CONCLUSIONES.....	38
6. BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS.....	41

RESUMEN

La materia orgánica del suelo es un constituyente esencial del sistema edáfico (sistema suelo), ya que por su constitución y propiedades es responsable directa de la mayoría de los procesos fisicoquímicos y biológicos del suelo.

El suelo es uno de los recursos más valiosos de la humanidad que debe ser conservado y protegido; constituye un cuerpo natural, esencial, tanto desde la perspectiva de la dinámica natural como del sistema de producción de alimentos. El suelo es un frágil recurso que puede ser degradado hasta la eventual pérdida de su fertilidad. Generalmente, el decrecimiento de la productividad de un suelo ha sido tratado incrementando el uso de fertilizantes químicos, sin realizar un estudio previo sobre la modificación que experimenta el suelo por efecto de su uso y manejo.

En la última década se produjo a nivel mundial un aumento en la demanda de productos agropecuarios obtenidos en forma orgánica o ecológica, lo cual ha creado un mercado que actualmente está en franca expansión. Los productos orgánicos se comercializan generalmente a precios superiores a los estándares y presentan ventajas en lo referente a la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales.

Dentro de las normativas del cultivo orgánico se prohíbe el uso de fertilizantes originados por síntesis química y de la mayoría de los insecticidas, fungicidas y herbicidas. La producción orgánica se basa, entonces, en asegurar la fortaleza y sanidad del suelo, considerado éste como un complejo ecológico donde conviven una fracción mineral con otra orgánica en descomposición y otra integrada por microorganismos animales y vegetales.

El presente trabajo muestra, de forma comparativa, el ciclo del carbono y el nitrógeno en suelos bajo distintas rotaciones de cultivo y adición de compost, el completo estudio de la materia orgánica, tanto sus fracciones estables como lábiles y de las formas de nitrógeno asociado a la materia orgánica así como las formas inorgánicas: nitratos y amonio, además de parámetros biológicos como respiración y biomasa.

Los suelos estudiados corresponden a muestras del orden Ultisol de la IX región del país, todos ellos bajo régimen orgánico, los cuales durante tres años fueron sometidos a rotación de cultivo (Poroto, Pradera, Trigo) y cantidades crecientes de compost (0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹).

Luego de caracterizar las muestras se encontró que los contenidos de Carbono y Nitrógeno total, se favorecen por efecto del compost en forma no proporcional a la dosis, aumentando para ambos el reservorio en el suelo.

Al estudiar las fracciones orgánicas poliméricas, se encontró que aplicación de compost incrementa en cantidad la Humina. Los contenidos de C encontrados

para el ácido húmico "HA" (40-50%) y ácido fúlvico "FA" (10-30%) son los habituales para estos compuestos y coinciden con datos de trabajos previos.

Al establecer relaciones entre las rotaciones de cultivo y las características de la materia orgánica; se encontró una mayor actividad de deshidrogenasas en el cultivo Poroto indicando que este vegetal tiene un efecto positivo sobre la microflora del suelo estimulando su actividad.

Luego de determinar el cociente metabólico ($Q_{CO_2} = \text{mg CO}_2/\text{mg biomasa C}$) de los suelos, se encontró como era esperable, que el compost estimula la actividad Biológica de ellos.

El compostaje es un método alternativo de recuperación de recursos, cuya ventaja principal radica en sus bajos costos operacionales, aspecto que estimula el reciclado y reutilización de los desechos prediales, lo que lleva a que este producto sea de fácil acceso a pequeños y medianos agricultores. La aplicación de compost en los agroecosistemas beneficia la producción de los cultivos y ayuda a mantener la calidad del suelo, mejorando su fertilidad, su agregación y su capacidad de retención de agua.

SUMMARY

Soil organic matter, SOM, is an essential constituent of the edaphic system directly responsible for most physicochemical and biological processes in soil.

As soil is one of the most valuable resources for life, it should be protected and preserved; it is a natural and essential body both for its dynamics and its use in food production. The soil is a fragile resource that can be broken down up to the eventual loss of fertility. The low productivity of soils has generally been treated by adding chemical fertilizers without a previous study to establish the effect of them on soils.

In the last decade, there was a worldwide increase of the demand of farming produce obtained either organically or ecologically, leading to its current expansion. Organic produce are usually marketed at prices higher than standard produce. In addition, organic produce has distinct advantages on preservation of both environment and natural resources.

Organic produce demands strict prohibition of chemical fertilizers, most insecticides, fungicides and herbicides. Organic produce requires assessment of soil health, which is the ecological site where a mineral fraction coexists with decaying organic matter and with plant and animal microorganisms.

The present comparative study shows the carbon and nitrogen cycle in soils under various crop rotations and increasing amounts of compost; it also comprises a complete study of both SOM stable and labile fractions and the nitrogen associated to organic and inorganic fractions: nitrates and ammonium; it also includes biological parameters such as respiration and biomass.

The soils under study were Ultisols from the IX region of Chile, all of them under organic treatment and submitted to crop rotation for three years and to increasing amounts of compost (0, 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹).

After sample characterization, we concluded that the total carbon and nitrogen content was favored by compost addition, however, it was not directly proportional to the amount of compost added, increasing in both cases the reservoir of these nutrients.

When studying the polymeric organic fractions, compost application was found to increase humine content. The carbon content determined for HA (40-50%) and FA (10-30%) are common for these compounds and agree with previous works.

The greater activity of dehydrogenases found for bean crops, would indicate that this vegetable has a positive effect over soil microflora, stimulating their activity.

After determining the soil metabolic quotient ($Q_{CO_2} = \text{mg CO}_2/\text{mg biomass C}$), we found that, as expected, the compost stimulates biological activity.

Composting is an alternative method for soil recovery, whose major advantage lies in the low operational cost, stimulating recycling and reutilization of agricultural wastes or residues, thus becoming accessible to all agriculturists. Agricultural compost usage strongly benefits crop production and helps to maintain soil quality, improving its fertility, aggregation and water holding capacity.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo, según la definición de la Soil Science Society, es un sistema complejo constituido por una parte inorgánica, formada por los minerales de los suelos, y por una parte orgánica, formada por residuos animales y vegetales en distintos grados de descomposición, por tejidos y células de organismos que viven en el suelo, y por productos elaborados por ellos (Soil Science of America, 1965).

La fracción inorgánica esta constituida básicamente por minerales de arcilla con algunas partículas pequeñas de otros minerales. Los minerales de arcilla son silicatos laminares, cuya organización estructural es variable. Otros minerales del suelo que cabe mencionar son aquellos formados por carbonatos y sulfatos, los cuales se encuentran en exceso en suelos bajo condiciones áridas (Sposito, 1992).

La materia orgánica es un importante sustrato para la nutrición de la microflora presente en los suelos y por otra parte es fuente de algunos macronutrientes como fósforo y nitrógeno. Además, regula la disponibilidad de otros macronutrientes (Ca, Mg) y de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn), para vegetales y animales que habitan en los suelos, a través de sus sistemas enzimáticos y de mecanismos químicos, tales como complejación e intercambio iónico. Igualmente tiene la capacidad de amortiguar cambios en el pH del ecosistema. En forma indirecta, mejora la agregación de los suelos, regulando por ende la aireación y la retención de humedad. Además, como la absorción del calor depende de la intensidad del color, la cantidad de humus que le da color a los suelos, va a regular la temperatura en ellos (Zunino, Borie, 1985).

La calidad del suelo, como medio de sustentación y de soporte para toda la vida que se desarrolla sobre él, depende fundamentalmente de la actividad biológica en íntima relación al contenido orgánico y mineral del suelo, junto a una adecuada condición estructural que permita la circulación de agua y aire. Del equilibrio entre estos constituyentes del sistema edáfico, dependerá el usufructo y preservación de los suelos (Zunino, Borie, 1985).

La materia orgánica está constituida por una parte biótica o biomasa, formada por los microorganismos que habitan en el suelo, y de una parte abiótica constituida por dos subgrupos de agregados orgánicos: residuos orgánicos naturales de bajo peso molecular (hidratos de carbono, aminoácidos, lípidos, lignina, etc.) y humus.

Los hidratos de carbono corresponden al subgrupo de la materia orgánica constituida por moléculas relativamente pequeñas, las cuales se encuentran libres o asociadas a estructuras moleculares mayores. Se calcula que entre un 5 a 25% de la materia orgánica del suelo esta constituida por hidratos de carbono, los que provienen en su mayoría de la descomposición de residuos orgánicos, tanto vegetales como animales. Así, los hidratos de carbono del suelo son el resultado

del equilibrio de un proceso activo de síntesis y degradación (Bulluck y colaboradores, 2002).

Los hidratos de carbono libres, ya sea monosacáridos, disacáridos u oligosacáridos, son fácilmente utilizados como fuente primaria de nutrición, especialmente de carbono, por microorganismos que habitan en el suelo y por la flora superior que sustenta el suelo (Bulluck y colaboradores, 2002), por lo que la proporción de éstos es muy baja. Otras fracciones de polisacáridos en cambio, tienden a unirse a la fracción inorgánica, formando agregados estables resistentes a las degradaciones enzimáticas, o se unen a la fracción orgánica estable (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) formando ésteres.

El humus constituye entre el 50 y 85% de la materia orgánica total de la superficie terrestre; Es una de las mejores fuentes de carbono para los microorganismos del suelo y reguladora del dióxido de carbono atmosférico (Stevenson, 1986); Presenta una alta acidez total (600-1500meq/100g) y una elevada capacidad de intercambio catiónico (Stevenson, 1986).

El humus está formado por tres fracciones altamente polimerizadas: ácido húmico, ácido fúlvico y humina. Estos tres polímeros húmicos son producto de la descomposición microbiológica de plantas y animales a compuestos de estructuras complejas y estables del tipo lignina, quitina, etc., y que por nueva síntesis biológica o vía radicales libres se transforman en nuevos polímeros orgánicos complejos y estables.

Estas fracciones húmicas son macromoléculas poli electrolíticas, fundamentalmente "ácidas", las que forman complejos metálicos y quelatos importantes durante la génesis y desarrollo del suelo, y que regulan el movimiento de los nutrientes en el suelo y la biodisponibilidad para las plantas.

En general estas tres fracciones poliméricas presentan una estructura semejante, con una variedad de grupos funcionales. Las diferencias entre éstas radican básicamente en el peso molecular, la aromaticidad, y la solubilidad en ácido y en base. Esta última propiedad permite realizar una extracción del humus del suelo, mediante el uso de una serie de reactivos químicos, obteniéndose por separado estas tres fracciones poliméricas (Stevenson, 1986).

La materia orgánica del suelo es un constituyente esencial del sistema edáfico (sistema suelo), ya que por su constitución y propiedades es responsable directa de la mayoría de los procesos fisicoquímicos y biológicos del suelo.

La materia orgánica de suelo de cultivo representa en si misma, un sistema complejo integrado por diversos componentes. Su dinamismo esta determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y la transformación y evolución de éstos, mediada por la interacción de múltiples procesos.

En general el nivel de materia orgánica de suelo está muy ligada al tipo de suelo, a su material parental y constitución mineral, al clima y condiciones ambientales en el caso de suelos vírgenes o sin cultivar. En el caso de suelos de uso agrícola y/o forestal, esos niveles se van modificando de acuerdo al uso y manejo de ellos. Estas prácticas sobre los suelos además influyen en la agregación de éstos, y por tanto en su estructura. Así, la aplicación de sistemas de labranza y manejo de residuos, adición de abonos y compost, adición de fertilizantes, tipos de cultivos y sistemas de rotación, son, entre otros, aspectos que inciden tanto en la acumulación de carbono como en la estructura del suelo.

El sistema oficial de clasificación de los suelos, agrupa los suelos desde categorías generales a las específicas. La categoría más general del suelo se llama orden. Todos los suelos del mundo están incluidos en 11 ordenes, los cuales son: Entisoles, Inceptisoles, Andisoles, Histosoles, Aridisoles, Mollisoles, Vertisoles, Alfisoles, Spodosoles, Ultisoles y Oxisoles. Estos 11 órdenes se caracterizan por: la naturaleza del desarrollo geológico (Andisoles), la extensión de la meteorización mineral (Oxisoles y los más antiguos Ultisoles), la importancia del contenido de la fracción arcilla (Vertisoles), y la incorporación del material orgánico a los suelos (Histosoles).

Los suelos volcánicos del Sur de Chile pertenecen al orden de los Andisoles y Ultisoles. Los Andisoles son suelos con un porcentaje de material volcánico superior al 60%, y con una densidad bajo los 900kg/m^3 , básicamente están formados por minerales secundarios y presentan una gran capacidad de adsorción e inmovilización de Fósforo (Miller, Donahue, 1990).

Los Ultisoles son suelos antiguos formados por conglomerados volcánicos, cristalinos, maduros y altamente erosionables, presentan un bajo contenido de materia orgánica (2 a 6%), (Miller, Donahue, 1990), son suelos muy ácidos que presentan una acumulación importante de minerales de arcilla, generalmente se los encuentra en climas tropicales y subtropicales (Iribarra, 1987).

El suelo es uno de los recursos más valiosos de la humanidad que debe ser conservado y protegido; constituye un cuerpo natural, esencial, tanto desde la perspectiva de la dinámica natural como del sistema de producción de alimentos. El suelo es un frágil recurso que puede ser degradado hasta la eventual pérdida de su fertilidad. Generalmente, el decrecimiento de la productividad de un suelo ha sido tratado incrementando el uso de fertilizantes químicos, sin realizar un estudio previo sobre la modificación que experimenta el suelo por efecto de su uso y manejo.

En la última década se produjo a nivel mundial un aumento en la demanda de productos agropecuarios obtenidos en forma orgánica o ecológica, lo cual ha creado un mercado que actualmente está en franca expansión. Los productos orgánicos se comercializan generalmente a precios superiores a los estándares y presentan ventajas en lo referente a la conservación del medio ambiente y de los recursos naturales.

Dentro de las normativas del cultivo orgánico se prohíbe el uso de fertilizantes originados por síntesis química y de la mayoría de los insecticidas, fungicidas y herbicidas. La producción orgánica se basa, entonces, en asegurar la fortaleza y sanidad del suelo, considerado éste como un complejo ecológico donde conviven una fracción mineral con otra orgánica en descomposición y otra integrada por microorganismos animales y vegetales.

El compostaje es un método alternativo de recuperación de recursos, cuya ventaja principal radica en sus bajos costos operacionales, aspecto que estimula el reciclado y reutilización de los desechos prediales, lo que lleva a que este producto sea de fácil acceso a pequeños y medianos agricultores. La aplicación de compost en los agroecosistemas beneficia la producción de los cultivos y ayuda a mantener la calidad del suelo, mejorando su fertilidad, su agregación y su capacidad de retención de agua (Bulluck y colaboradores, 2002).

Los suelos estudiados corresponden a muestras del orden Ultisol de la IX región del país, todos ellos bajo régimen orgánico, los cuales durante tres años fueron sometidos a distintas rotaciones de cultivo (Poroto, Pradera, Trigo) y adición de compost.

2. OBJETIVOS

2.1 objetivo general

El principal objetivo de este trabajo será estudiar comparativamente los cambios que se producen en la materia orgánica de suelos orgánicos bajo diferente rotación de cultivo y adición de compost.

2.2 objetivos específicos

1. Caracterizar las muestras de suelos a analizar, en cuanto a pH, humedad, capacidad máxima de retención de agua, carbono orgánico y nitrógeno total.
2. Realizar un estudio cualitativo de las fracciones orgánicas poliméricas; ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.
3. Determinar las fracciones disponibles de la materia orgánica: hidratos de carbono lábiles e hidratos de carbono totales.
4. Realizar el balance de las fracciones orgánicas para establecer la distribución de las distintas fracciones en los suelos en estudio.
5. Determinar la evolución de dióxido de carbono en un período de tiempo establecido y determinar la biomasa microbiana expresada en carbono.
6. Establecer relaciones entre las diferentes rotaciones de cultivo y adición de compost y las características de la materia orgánica presente en los suelos, sometidos a estos sistemas por un período de tres años.
7. Establecer el cociente metabólico ($Q_{CO_2} = \text{mg } CO_2 / \text{mg biomasa C}$) de los suelos en estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Suelos Seleccionados

Los suelos utilizados para este estudio fueron Suelos Orgánicos (Ultisol serie Metrenco, IX región de Chile), que fueron sometidos durante tres años consecutivos a distinta rotación de cultivo y dosis creciente de compost equivalentes a 8, 20 y 30 Mg ha⁻¹, incluyendo un control, sin aplicación, los cuales estuvieron contenidos en macetas de 5 litros de capacidad. El compost aplicado se preparó con desechos vegetales agrícolas y cama de animales. Los cultivos utilizados fueron:

- Pradera mixta formada por la asociación *Lolium multiflorum* y *Trifolium pratense*,
- Poroto (*Phaseolus vulgaris*), y
- Trigo (*Triticum aestivum*).

La densidad de plantas en Poroto y Trigo fue de 3 y 10 plantas maceta⁻¹ mientras que, en Pradera, la densidad se asoció con el equivalente a una siembra de campo realizada en forma manual.

Las muestras recolectadas en el año 2007, corresponden a 12 variables de un Ultisol, correspondiente a Pradera natural bajo régimen orgánico, con rotación de cultivo Trigo-Poroto-Pradera, las cuales se envasaron herméticamente en frascos plásticos y posteriormente se almacenaron en cámara de frío a 6°C con el objeto de conservar sus propiedades químicas y biológicas.

3.2 Metodología de Análisis

3.2.1 Fraccionamiento de la Materia Orgánica del Suelo:

Para estudiar directamente los aspectos físico - químicos de la materia orgánica de suelo, es preciso aislarla de los otros constituyentes del suelo. Las sustancias húmicas se recuperan normalmente del suelo por extracción con álcali (usualmente hidróxido de sodio 0.1 a 0.5 N). Se realiza una extracción secuencial que se basa en las propiedades de solubilidad de las fracciones de la materia orgánica: ácido húmico, soluble en álcali, insoluble en ácido; ácido fúlvico, soluble en álcali y soluble en ácido; y humina insoluble en álcali.

Reactivos.-

- Solución NaOH 0.2 N
- Solución H₂SO₄ 5 N

- Mezcla 1: 1 HCl / HF

Equipos:

- Centrífuga
- Estufa

Procedimiento.

Se pesa alrededor de 50 g de suelo, se adicionan 250 mL de hidróxido de sodio 0.2 N y se calienta en baño de agua a 90°C, durante treinta minutos. Esta suspensión se decanta y el sobrenadante se extrae y se adiciona a un vaso de precipitación. Al residuo se le agregan nuevamente 250 mL hidróxido de sodio 0.2 N, esto se repite tres veces para obtener el mayor rendimiento en el proceso de extracción; así se obtiene aproximadamente unos 750 mL de solución alcalina, la cual se centrifuga. El residuo sólido obtenido es la fracción humina junto al residuo inorgánico propio del suelo, el cual se lava con agua destilada hasta que tenga un pH neutro y se seca en estufa a 50°C.

Por otro lado, los 750 mL de solución alcalina se acidifican hasta pH 2 con Ácido sulfúrico 5 N, se deja decantar por algunos minutos logrando separar el ácido húmico del ácido fúlvico; la solución decantada se centrifuga y el precipitado (ácido húmico) se purifica con una mezcla proporcional de Ácido clorhídrico: Ácido fluorhídrico (1:1), tres veces, luego se lava con agua hasta que el ácido húmico quede neutro, y se seca en estufa a 50°C. A la solución restante de la centrifugación se hace pasar a través de resina de intercambio iónico, ácida fuerte (R-H⁺), para eliminar todos los iones que se fijaron a lo largo del proceso de fraccionamiento, luego ésta solución (ácido fúlvico) se concentra en un evaporador rotatorio, y finalmente se dializa para purificarlo, utilizando una membrana para peso molecular mayor a 2.000 y finalmente se seca en estufa a 50°C.

3.2.2 Determinación del Carbono y Nitrógeno total en suelo y en fracciones orgánicas estables (ácido húmico, ácido fúlvico, humina)

El analizador elemental "Vario El" es un instrumento completamente automático, de alta eficiencia para determinar C, H, N, y S.

La sustancia a ser analizada es sometida a combustión oxidativa que se realiza en una atmósfera inerte de He altamente oxigenada a una temperatura aproximada de 1150°C, en un tubo de cuarzo. Es posible obtener una combustión cuantitativa de la muestra seleccionando adecuadamente la cantidad de Oxígeno y el tiempo de combustión. La combustión oxidativa de los elementos C, H, N y S, aparte de los productos de oxidación (NO, N₂O, CO₂, SO₂, SO₃, H₂O), produce compuestos halógenos volátiles, si la muestra contiene halógenos.

El contacto con el tubo reductor de Cu, reduce cuantitativamente los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre a N_2 , SO_2 , esto se realiza a una temperatura de $850^\circ C$. Posteriormente al contacto con el tubo de Cu, los compuestos halógenos volátiles son retenidos por una sustancia absorbente (lana de Ag) y así se remueven del flujo de gas. La mezcla de gas de He, CO_2 , H_2O , N_2 y SO_2 son subsiguientemente guiados al sistema de separación y medición. Cada gas es detectado por el "detector de conductividad térmica" TCD. Así, con la ayuda de un microprocesador integrado al equipo "Vario EI" se puede obtener el porcentaje de: C, H, N, S, presente en la muestra analizada.

Reactivos.-

- Oxido Wolframio

Equipos:

- Elementar Analysensysteme GMBH Vario EI.

Procedimiento.

Se pesa una cantidad de muestra adecuada, que contenga máximo 7 mg de Carbono, en una balanza analítica, sensible a la centésima de mg. Se coloca la muestra en navcillas estaño y se le añade óxido de Wolframio que actúa como catalizador para la oxidación completa de la muestra (se recomienda aproximadamente 5 mg de WO_3). La navcilla de estaño es doblada, sellada e insertada en el carrusel automático para muestras del equipo. Se procede al análisis de las muestras por medio del equipo, obteniéndose el porcentaje de Carbono (C) y de Nitrógeno (N).

3.2.3 Determinación de Hidratos de Carbono por el Método de la Antrona

3.2.3.1 Hidratos de Carbono libres

Procedimiento:

- Extracción: Se toman 10 g de suelo, se le agregan 20 ml de agua, se agita el sistema por 20 seg, y luego se filtra.
- Determinación: El contenido de hidratos de carbono libres se determina por el método de la antrona.

3.2.3.2 Hidratos de Carbono Totales:

Los hidratos de Carbono están presentes en baja proporción por lo que resulta necesario aislarlos previamente para su posterior determinación. El análisis de "hidratos de Carbono totales" en suelo comprende tres etapas: extracción, purificación y determinación.

En la etapa de extracción se sabe que la mejor extracción se realiza por hidrólisis ácida, obteniéndose el mayor porcentaje de rendimiento cuando se utiliza ácido sulfúrico 25 N, por 2 horas y a 25°C, y luego se diluye a una acidez 5 N, y se deja por 15 horas a 50°C; esto fue implementado por Aguilera y colaboradores. Para el caso de la celulosa, ellos comprobaron que la hidrólisis es completa cuando las concentraciones de ésta en las muestras es de 30 a 70 mg/g; por lo que recomiendan aplicar a cantidades de muestras cuyo contenido de hidratos de Carbono totales, expresado en glucosa, no exceda los 70 mg/g.

En la etapa de purificación se usa el hidróxido de sodio, como agente neutralizador de los hidrolizados ácidos, ya que aparte de ser más fácil la técnica de neutralización utilizando este reactivo, Aguilera M, y colaboradores comprobaron que los valores de hidratos de Carbono totales son ligeramente superiores a los encontrados cuando, se utiliza carbonato de bario.

Así, la determinación colorimétrica de azúcares totales se lleva a cabo utilizando el método de la antrona y la técnica de espectrofotometría visible. En el método de la antrona, los hidratos de Carbono, en su forma monomérica, por acción del ácido sulfúrico concentrado sufren una deshidratación dando origen a compuestos derivados del furfural, los cuales reaccionan con el reactivo antrona. Se forma así un compuesto coloreado, cuyo máximo de absorbancia se registra a una longitud de onda de 625 nm (Aguilera y colaboradores, 1987).

El método de la antrona ha sido escogido gracias a pruebas realizadas con hidratos de Carbono patrones donde el análisis de las absorbancias registradas, señalan valores más altos para las hexosas, siendo el valor mas destacado, el obtenido a partir de la glucosa. En cambio, las pentosas y los ácidos urónicos registran valores de absorbancia relativas muy inferiores, los que incluso no superaron el 10% de los correspondientes a las hexosas.

Lo descrito anteriormente señala que el método de la antrona determina preferentemente hexosas; este hecho lo hace útil para nuestro estudio donde una parte importante de polisacáridos presentes en suelos corresponde a celulosa que por hidrólisis genera glucosa. Por todo esto los resultados obtenidos son expresados en contenido de glucosa por g. de suelo.

Reactivos.-

- NaOH 10 N
- H₂SO₄ 25
- Solución reactivo: solución de antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno) al 1% en H₂SO₄ (C).
- Curvas de calibración: se preparan soluciones patrones de glucosa.

Equipos:

- Espectrofotómetro UV - VISIBLE Shimadzu 160 A.

Procedimiento.

- Extracción: se hidrolizan 2 g de suelo durante dos horas con 2 mL de ácido sulfúrico 25 N a temperatura ambiente. Luego se diluye la muestra a ácido sulfúrico 5 N con 8 mL de agua destilada y se mantiene la hidrólisis durante 15 horas a 50°C.
- Purificación: el hidrolizado ácido, obtenido de la extracción, se neutraliza con hidróxido de sodio 10 N, y el precipitado coloidal que se forma, se separa por centrifugación. Una vez centrifugado los hidrolizados se enrasan a 100 mL, previo paso por papel filtro.
- Determinación: el contenido de hidratos de Carbono en la solución neutra se valora por el método de la antrona.

Procedimiento del método de la antrona: a 2 mL de la solución que contiene los hidratos de Carbono se añade 10 mL de solución de antrona en tubos de 30 mL de capacidad. Se homogeneizan perfectamente en agitador de tubos vortex por 30 segundos, luego se calienta durante 12 minutos, en baño de agua a 90°C. Se enfría y se lee la absorbancia del compuesto formado a 625 nm en un espectrofotómetro. El color se mantiene estable por el lapso de una hora.

3.2.4 Determinación de Carbono Biomásico.

Muchos estudios se han realizado para estimar la cantidad de biomasa en el suelo, incluyendo el recuento total de los microorganismos y las medidas de sus actividades metabólicas. Las medidas de oxígeno consumido y de dióxido de Carbono producido a menudo han sido usadas como medidas de la actividad microbiana, pero el valor obtenido no puede ser interpretado en términos de la biomasa microbiana. El método, comúnmente, usado para estimar la magnitud de la biomasa es medir el incremento del flujo de dióxido de Carbono sobre el proceso de incubación en un suelo esterilizado, y reinoculado con 1g de suelo original, en comparación al suelo sin esterilizar. La variación en el flujo de dióxido de Carbono es el resultado de la mayor cantidad de sustrato carbonado disponible para los microorganismos, debido a la descomposición de células microbianas muertas por esterilización. Esta diferencia de C-CO₂ corresponde al tamaño de la biomasa expresada en Carbono.

Así, para estimar la cantidad de biomasa presente en los suelos analizados, con sus respectivas variables, se utilizó el método descrito anteriormente, el flujo de dióxido de Carbono producido fue determinado con el Equipo Bio-oximax.

Reactivos:

- CHCl_3

Procedimiento.

Se pesa 35 g de suelo seco, por duplicado para cada suelo, una muestra se esteriliza con cloroformo durante 24 horas y la otra muestra se tapa con parafilm y se guarda en frío. Se airea la muestra estéril y se agrega 1g suelo original a la muestra estéril. Se regula la humedad a ambas muestras, al 60% de la capacidad de retención de agua, para cada suelo. Se coloca la muestra en el equipo Bio-oximax, a una temperatura de 20 ± 2 °C y luego de 10 días, se obtiene el resultado de la cantidad de dióxido de Carbono producido y mediante cálculo simple la cantidad de biomasa existente en el suelo, expresada como C-biomásico.

3.2.5 Determinación del Balance de Carbono

Después de determinar el contenido de Carbono correspondiente a la fracción estable y a la fracción lábil, se realiza el "Balance de Carbono" y se determina la "Distribución del Carbono Total".

3.2.6 Deshidrogenasa

Reactivos.-

- Ca(OH)_2
- TTC: 2,3,5- Trifenil Tetrazolio 3%P/V
- Metanol
- TFF: Trifenil Formazan
- Curvas de calibración: se preparan soluciones patrones de 2,4,8,12 y 20ppm de TFF, a partir de una solución patrón de 40ppm de TFF disuelto en metanol .

Equipos:

- Espectrofotómetro UV - VISIBLE Shimadzu 160 A.

Procedimiento.

Se pesa el equivalente a 30 g de suelo seco, en un frasco de vidrio de 30 mL, con tapa rosca. Se adiciona 50 mg de Ca(OH)_2 , se agrega 0.5 mL de TTC (3%P/V) y agua destilada suficiente para humectar (aprox. 1.7 mL). Se homogeniza y se incuba a 37°C durante 24 hrs.

El TFF formado durante el proceso, se extrae con 5 mL de metanol, se agita el frasco durante 1 minuto, se deja reposar 3 minutos y se filtra, recibiendo el filtrado en un matraz aforado de 50 mL.

Se repite el proceso extractivo seis veces, para extraer todo el TFF producido. Luego, se enrasa con metanol y se lee en un espectrofotómetro a 480 nm, contra un blanco de metanol.

3.2.7 Determinación de Nitrógeno Inorgánico en forma de Nitrato y Amonio

Este ensayo se realizó de acuerdo al método espectrofotométrico descrito por Keeney, D.R., y Nelson, D.W (Keeney, Nelson, 1982).

3.2.8 pH

El pH se determinó potenciométricamente en el sobrenadante de una suspensión agua/suelo en relación 2:1 en peso.

3.2.9 Humedad

La Humedad se determinó por diferencia de peso llevando las muestras a sequedad a 105°C en estufa, hasta peso constante.

3.2.10 Capacidad Máxima de Retención de agua (WHC)

Se colocan 10 g de suelo pesado exactamente en una placa filtrante con el filtro de papel humedecido y se anota el peso de ésta. Luego la base de la placa es sumergida en agua, permitiendo que esta ascienda por capilaridad. Se da tiempo al sistema hasta observar que el agua ha llegado hasta la superficie del suelo. Luego se saca la placa de la fuente de agua y se elimina el exceso de agua secando el exterior y la base de la placa. Se pesa finalmente la placa filtrante y por diferencia de peso se puede conocer la cantidad máxima de agua que el suelo es capaz de retener.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación y validez de los datos

Se presentan los resultados obtenidos correspondientes a propiedades generales de los suelos, parámetros biológicos, contenido de carbono y nitrógeno total, su distribución en las fracciones húmicas estables, y en sus formas lábiles. Todos los resultados se expresan en base seca de suelo y corresponden a muestras compuestas por cuatro submuestras de suelos bajo las mismas condiciones de tratamiento.

Para el análisis de los datos se utilizó el programa STATGRAPHICS PLUS 5.1, realizando un ANDEVA y según correspondiera, una prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

Nota: La nomenclatura utilizada para identificar las muestras de suelos será:

Po = poroto

Pr = pradera

Tr = trigo

8-20-30 = Mg compost ha⁻¹

test= testigo

Ejemplo:

Po30= Cultivo de poroto con adición de 30 Mg compost ha⁻¹.

4.2 Propiedades generales de los suelos

Tabla 1: Resumen propiedades generales de los suelos

Suelo	% humedad	pH	%C total	%N total
Po test	7,10	5,22	2,42	0,24
Po 8	6,09	5,89	4,60	0,43
Po 20	5,91	6,11	3,44	0,30
Po 30	6,52	6,27	3,91	0,37
Pr test	19,84	5,39	3,58	0,35
Pr 8	17,89	5,62	3,53	0,34
Pr 20	15,53	6,15	3,93	0,36
Pr 30	13,21	6,34	3,51	0,32
Tr test	8,51	5,54	3,55	0,34
Tr 8	7,83	5,84	3,26	0,31
Tr 20	8,88	6,24	3,60	0,34
Tr 30	11,06	6,21	3,40	0,33

En la siguiente tabla resumen, se muestran las propiedades generales de los suelos, las cuales luego de ser analizados estadísticamente arrojaron los siguientes resultados:

Para Humedad no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según adición de compost, pero al analizar las muestras según cultivo se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en humedad para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que el cultivo Pradera presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos cultivos utilizados.

La humedad es un parámetro muy variable ya que depende de las condiciones ambientales, en este caso podría tener validez ya que las condiciones son controladas y el riego es homogéneo en todos los tratamientos. Por tanto podría decirse que el cultivo Pradera conserva o retiene mejor la humedad que los otros cultivos utilizados.

Para los % de Carbono y Nitrógeno total, no existen diferencias estadísticamente significativas ya que ningún P-valor es inferior a 0,05, por tanto ninguno de los factores (compost; cultivo) tiene efecto estadísticamente significativo en %C total y %N total para un nivel de confianza del 95,0%.

En general el pH es del orden de 5,9 en promedio, valor que esta dentro del rango esperado para este tipo de suelos. Se sabe que el material húmico del suelo presenta propiedades de buffer o tampón frente a cambios bruscos de acidez. De todas formas no podríamos afirmar en que grado estaría presente este efecto, ya

que el contenido orgánico estable para estos suelos no es muy alto comparado con otros suelos de origen volcánico.

4.3 Capacidad máxima de retención de agua (WHC)

Tabla 2.

Suelo	WHC (g agua retenida/100g SS)
Po test	82,82
Po 8	67,86
Po 20	73,60
Po 30	72,68
Pr test	74,16
Pr 8	86,04
Pr 20	62,98
Pr 30	71,69
Tr test	65,58
Tr 8	72,21
Tr 20	71,75
Tr 30	77,88

No existen diferencias estadísticamente significativas ya que ningún P-valor es inferior a 0,05, por tanto ninguno de los factores (compost; cultivo) tiene efecto estadísticamente significativo en WHC para un nivel de confianza del 95,0%.

Sería esperable que el aporte orgánico que el compost significa lograra incrementar la WHC pero no se observa tal efecto.

4.4 Contenido de Hidratos de Carbono Lábilés.

Tabla 3.

Suelo	ug de glucosa/g Suelo Seco
Po test	28,68
Po 8	30,06
Po 20	26,29
Po 30	24,26
Pr test	11,93
Pr 8	15,92
Pr 20	21,42
Pr 30	19,45
Tr test	14,56
Tr 8	8,87
Tr 20	16,51
Tr 30	11,83

4.5 Contenido de Hidratos de Carbono Totales.

Tabla 4.

Suelo	g de glucosa/g Suelo Seco
Po test	4,80
Po 8	8,55
Po 20	4,63
Po 30	4,11
Pr test	2,98
Pr 8	3,92
Pr 20	5,64
Pr 30	29,23
Tr test	6,81
Tr 8	4,92
Tr 20	5,21
Tr 30	3,71

En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de la determinación del contenido de hidratos de carbono lábiles o inmediatamente disponibles, y el contenido total de éstos, expresados en ug y en g de glucosa por gramo de suelo seco respectivamente.

El análisis estadístico demostró que para los hidratos de carbono lábiles no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según adición de compost, pero al analizar las muestras según cultivo se obtiene

que un P-valor es inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de hidratos de carbono lábiles para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que el cultivo Poroto presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos cultivos utilizados, siendo para este cultivo, mayor la cantidad de hidratos de carbono lábiles presentes en el suelo.

En cuanto a los hidratos de carbono totales no existen diferencias estadísticamente significativas ya que ningún P-valor es inferior a 0,05, por tanto ninguno de los factores (compost; cultivo) tiene efecto estadísticamente significativo en los hidratos de carbono totales para un nivel de confianza del 95,0%.

4.6 Rendimiento de extracción materia orgánica y pesos por fracción.

Tabla 5.

Suelo	Humina(g)	HA(g)	FA(g)	%Rend.extracción
Po test	70,70	2,50	1,31	74,47
Po 8	70,00	2,40	1,45	73,85
Po 20	75,02	1,44	1,34	77,81
Po 30	73,93	1,32	1,19	76,43
Pr test	71,50	1,50	1,61	74,58
Pr 8	74,11	1,40	2,44	77,95
Pr 20	76,63	1,59	1,14	79,35
Pr 30	73,92	0,65	0,55	75,12
Tr test	69,90	2,70	1,64	74,15
Tr 8	72,48	1,41	2,75	76,64
Tr 20	72,79	1,01	1,01	74,81
Tr 30	75,11	0,88	1,01	76,99

Para analizar la eficiencia de la extracción en la Tabla 5 se presenta el rendimiento en el proceso de extracción de las fracciones estables del material húmico del suelo, expresado como porcentaje sobre la base de 100 g de suelo seco. Si bien los rendimientos de extracción son bastante altos, para ninguna muestra se obtiene un 100%. Los valores totales varían entre 73 y 79%. Estas diferencias son esperadas, ya que probablemente se deben a pérdidas de la fracción labil de la materia orgánica del suelo durante el proceso de extracción, separación y purificación de las distintas fracciones húmicas.

La fracción humina presenta una estructura polimérica altamente humificada e íntimamente enlazada al material mineral del suelo, por lo que siempre se presenta en mayor cantidad respecto a las otras fracciones. Generalmente, y en este mismo orden encontramos el ácido húmico y finalmente el ácido fúlvico.

El análisis estadístico demostró que para las tres fracciones no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo, pero al analizar las muestras según adición de compost, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de dichas fracciones para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que para la fracción humina se presentan diferencias significativas entre la muestra testigo y la con 20 Mg compost ha⁻¹, para la fracción HA se presentan diferencias significativas entre la muestra testigo y la con 30 Mg compost ha⁻¹, siendo en estos casos mayor la fracción para las muestras testigo. En tanto para la fracción FA se presentan diferencias significativas entre la muestra con 8 Mg compost ha⁻¹ y la con 30 Mg compost ha⁻¹, siendo en este caso mayor la fracción para las muestras con 8 Mg compost ha⁻¹.

Pareciera que la aplicación de compost incrementa en cantidad la Humina, es decir la fracción más estable en función de disminuir levemente las fracciones menos poliméricas como son HA y FA.

4.7 Contenido porcentual de Carbono en las fracciones orgánicas estables.

Tabla 6.

Contenido de Carbono (%)			
Suelo	Humina	HA	FA
Po test	0,93	44,40	18,57
Po 8	0,93	35,60	17,40
Po 20	0,93	49,14	21,60
Po 30	0,72	50,42	20,64
Pr test	0,91	48,90	17,74
Pr 8	0,94	51,31	11,05
Pr 20	1,03	51,10	19,55
Pr 30	0,88	52,63	30,55
Tr test	0,93	36,20	17,16
Tr 8	0,92	51,00	9,17
Tr 20	0,82	51,90	19,06
Tr 30	0,77	44,21	26,04

La Tabla 6 presenta los contenidos de Carbono en cada una de las fracciones húmicas estables, expresados en porcentaje.

El análisis estadístico demostró que para las fracciones humina y HA no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost, en cuanto a la fracción FA no existe diferencia estadísticamente significativa en la muestra comparada según cultivo pero al analizar la muestra según adición de compost, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de dicha fracción para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que para la fracción FA se presentan diferencias significativas entre la muestra con 8 Mg compost ha⁻¹ y la con 30 Mg compost ha⁻¹, siendo mayor el % de carbono para las muestras con 30 Mg compost ha⁻¹, además se observa un aumento en el % de carbono al aumentar la cantidad de compost, aunque solo existe una diferencia estadísticamente significativa en las muestras antes mencionadas.

Los contenidos encontrados en el HA (40-50%) y FA (10-30%) son los habituales para estos compuestos y coinciden con los descritos por Schnitzer (1978) y otros trabajos previos.

4.8 Balance de Carbono.

Tabla 7.

Suelo	% CARBONO total		
	Humina	HA	FA
Po test	0,66	1,11	0,24
Po 8	0,65	0,85	0,25
Po 20	0,70	0,71	0,29
Po 30	0,50	0,67	0,25
Pr test	0,65	0,73	0,29
Pr 8	0,70	0,72	0,27
Pr 20	0,79	0,81	0,23
Pr 30	0,65	0,34	0,17
Tr test	0,65	0,98	0,28
Tr 8	0,67	0,72	0,25
Tr 20	0,60	0,52	0,19
Tr 30	0,60	0,39	0,26

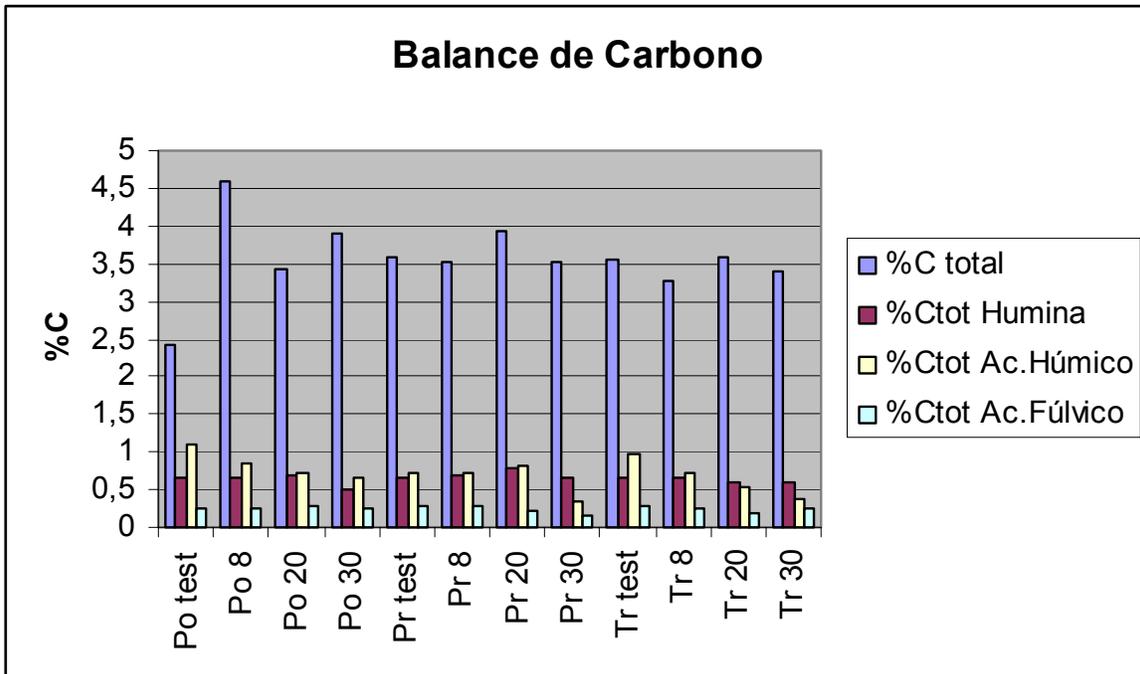
Para normalizar los datos de carbono y hacerlos comparables es necesario determinar el contenido de carbono en cada una de las fracciones, lo que se hizo mediante el análisis elemental (tabla 6). Luego, al multiplicar el rendimiento porcentual (tabla 5) por el porcentaje de carbono que posee cada fracción se llega al valor corregido del porcentaje de carbono que aporta cada fracción orgánica al contenido de carbono total. En la tabla 7 se presenta el balance de carbono que corresponde a los valores corregidos de carbono con que cada una de las fracciones estables contribuye al contenido de carbono total, presente en 100 g de suelo seco, a fin de que comparativamente se pueda estimar la calidad y cantidad de cada uno de los tipos de material orgánico, respecto del total.

Podemos apreciar que el contenido de carbono total del Ultisol (bajo distinta rotación de cultivo y adición creciente de compost) en estudio fue relativamente bajo, con un 3.56% en promedio, en comparación con otros suelos de nuestro país como los Andisoles en la zona sur, con un contenido de carbono total entre 5 a 20%.

El análisis estadístico demostró que para las fracciones humina y FA no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost, en cuanto a la fracción HA no existe diferencia estadísticamente significativa en la muestra comparada según cultivo pero al analizar la muestra según adición de compost, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de dicha fracción para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que para la fracción HA se presentan diferencias significativas entre la muestra testigo y la con 30 Mg compost ha⁻¹, siendo mayor el % de carbono total para las muestras testigo, además se observa una disminución en el % de carbono total al aumentar la cantidad de compost, aunque solo existe una diferencia estadísticamente significativa en las muestras antes mencionadas.

En la figura N°1 se muestra que en comparación con el testigo el % de carbono total aumenta por efecto del compost en forma no proporcional a la dosis, para el cultivo de poroto, pero no ocurre así con los otros cultivos.

Figura 1. Balance de carbono que corresponde a los valores corregidos de carbono con que cada una de las fracciones estables contribuye al contenido de carbono total.



4.9 Contenido de Nitrógeno Inorgánico (NO_3^- , NH_4^+).

Tabla 8.

Suelo	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	mg/100g SS	mg/100g SS
Po test	9,16	2,78
Po 8	5,16	0,75
Po 20	6,28	1,77
Po 30	10,14	0,98
Pr test	4,00	9,96
Pr 8	3,92	10,66
Pr 20	7,18	7,25
Pr 30	6,44	3,49
Tr test	8,91	1,27
Tr 8	8,01	0,49
Tr 20	10,24	1,31
Tr 30	8,44	3,47

La Tabla 8 presenta los contenidos de Nitrógeno inorgánico expresado como miligramos de Amonio y Nitrato por 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para Nitrógeno Inorgánico expresado como Amonio no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost, en cuanto a Nitrógeno inorgánico expresado como Nitrato no existe diferencia estadísticamente significativa en la muestra comparada según adición de compost, pero al analizar la muestra según cultivo, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de dicha fracción para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que el cultivo Pradera presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos cultivos utilizados, siendo para este cultivo, mayor la cantidad de Nitrógeno inorgánico expresado como Nitrato.

4.10 Contenido porcentual de Nitrógeno en las fracciones orgánicas estables.

Tabla 9.

Contenido de Nitrógeno (%)			
Suelo	Humina	HA	FA
Po test	0,11	3,74	1,41
Po 8	0,11	3,12	1,24
Po 20	0,11	4,05	1,72
Po 30	0,07	4,20	1,50
Pr test	0,12	4,17	1,35
Pr 8	0,11	4,13	0,89
Pr 20	0,12	4,11	1,58
Pr 30	0,07	4,34	2,09
Tr test	0,10	3,18	1,22
Tr 8	0,09	4,01	0,71
Tr 20	0,06	4,32	1,39
Tr 30	0,07	3,68	1,87

La Tabla 9 presenta los contenidos de Nitrogeno en cada una de las fracciones húmicas estables, expresados en porcentaje.

El análisis estadístico demostró que para la fracción HA no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost, en cuanto a la fracción humina y FA no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo pero al analizar la muestra según adición de compost, se obtiene un P-valor

inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la cantidad de nitrógeno para dichas fracciones para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que para la fracción FA se presentan diferencias significativas entre la muestra con 8 Mg compost ha⁻¹ y la con 30 Mg compost ha⁻¹, siendo mayor el % de Nitrógeno para las muestras con 30 Mg compost ha⁻¹, además se observa un aumento en el % de Nitrógeno al aumentar la cantidad de compost, aunque solo existe una diferencia estadísticamente significativa en las muestras antes mencionadas.

El compost haría un aporte positivo al contenido de Nitrógeno a la materia orgánica. Es decir aumentaría el reservorio de este importante nutriente.

4.11 Balance de Nitrógeno.

Tabla 10.

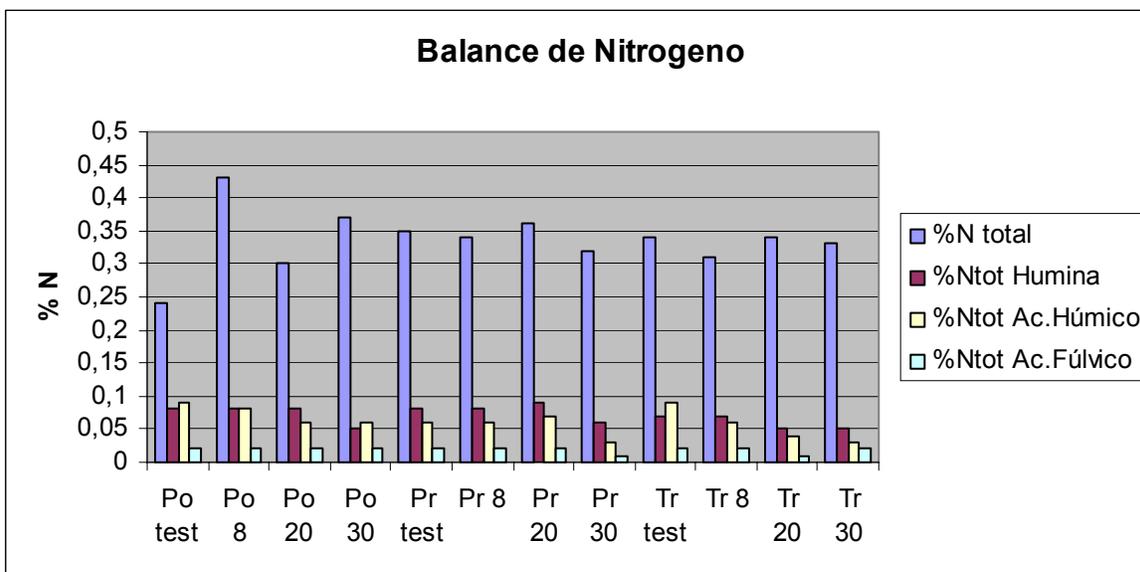
Suelo	% NITROGENO total		
	Humina	HA	FA
Po test	0,08	0,09	0,02
Po 8	0,08	0,08	0,02
Po 20	0,08	0,06	0,02
Po 30	0,05	0,06	0,02
Pr test	0,08	0,06	0,02
Pr 8	0,08	0,06	0,02
Pr 20	0,09	0,07	0,02
Pr 30	0,06	0,03	0,01
Tr test	0,07	0,09	0,02
Tr 8	0,07	0,06	0,02
Tr 20	0,05	0,04	0,01
Tr 30	0,05	0,03	0,02

En la tabla 10 se presenta los valores corregidos de Nitrógeno con que cada una de las fracciones estables contribuye al contenido de Nitrógeno total, presente en 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para las tres fracciones no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost.

En la figura N°2 se muestra que en comparación con el testigo el % de nitrógeno total aumenta por efecto del compost en forma no proporcional a la dosis, para el cultivo de poroto, pero no ocurre así con los otros cultivos

Figura 2. Balance de nitrógeno que corresponde a los valores corregidos de nitrógeno con que cada una de las fracciones estables contribuye al contenido de nitrógeno total.



4.12. Deshidrogenasa (DH).

Tabla 11.

Suelo	mg de TFF/100g SS
Po test	562,40
Po 8	341,40
Po 20	426,30
Po 30	517,00
Pr test	322,90
Pr 8	185,10
Pr 20	282,60
Pr 30	187,80
Tr test	145,30
Tr 8	172,00
Tr 20	207,30
Tr 30	165,00

En la tabla 11 se presenta los valores de actividad de deshidrogenasas expresados en miligramos de Trifenil Formazán (TFF), presente en 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para actividad de deshidrogenasas no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según adición de compost, pero al analizar la muestra según cultivo, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la actividad de deshidrogenasas para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que el cultivo Poroto presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos cultivos utilizados, siendo para este cultivo, mayor la actividad de deshidrogenasas.

La mayor actividad de deshidrogenasas en el cultivo Poroto indicaría que este vegetal tiene un efecto positivo sobre la microflora del suelo estimulando su actividad.

4.13 Biomasa.

Tabla 12.

Suelo	Biomasa
Po test	105,46
Po 8	60,14
Po 20	101,20
Po 30	96,85
Pr test	212,28
Pr 8	194,84
Pr 20	166,32
Pr 30	193,85
Tr test	141,20
Tr 8	89,91
Tr 20	133,59
Tr 30	174,24

En la tabla 12 se presenta los valores de biomasa expresados en miligramos de Carbono por 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para biomasa no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según adición de compost, pero al analizar la muestra según cultivo, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la biomasa para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de

otras, demostró que el cultivo Pradera presenta diferencias significativas con respecto a los otros dos cultivos utilizados, siendo para este cultivo, mayor la biomasa.

4.14 Respiración.

Tabla 13.

Suelo	Respiración
Po test	18,09
Po 8	51,79
Po 20	70,89
Po 30	101,93
Pr test	4,14
Pr 8	11,23
Pr 20	84,48
Pr 30	105,14
Tr test	10,73
Tr 8	30,62
Tr 20	80,02
Tr 30	104,68

En la tabla 13 se presenta los valores de Respiración expresados en miligramos de Dióxido de Carbono, producidos por 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para Respiración no existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo, pero al analizar la muestra según adición de compost, se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en la Respiración para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que para los pares de muestras (testigo y 8 Mg compost ha⁻¹, y 20 Mg compost ha⁻¹ y 30 Mg compost ha⁻¹) no existen diferencias estadísticamente significativas, pero si se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los pares de muestras, siendo directamente proporcional la respiración con la adición de compost a los suelos.

4.15 Coeficiente Metabólico (Q CO₂).

Tabla 14.

Suelo	Q CO ₂
Po test	0,17
Po 8	0,86
Po 20	0,70
Po 30	1,05
Pr test	0,02
Pr 8	0,06
Pr 20	0,51
Pr 30	0,54
Tr test	0,08
Tr 8	0,34
Tr 20	0,60
Tr 30	0,60

En la tabla 14 se presenta los valores del Coeficiente Metabólico expresado en miligramos de Dióxido de Carbono/ miligramos de Carbono, presente en 100 g de suelo seco.

El análisis estadístico demostró que para el Coeficiente Metabólico existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras comparadas según cultivo y adición de compost, ya que se obtiene un P-valor inferior a 0,05, este factor por tanto tiene efecto estadísticamente significativo en el Coeficiente Metabólico para un 95,0% de confianza. La prueba de comparación múltiple de Tukey que determina las medias que son significativamente diferentes unas de otras, demostró que el cultivo Poroto presenta diferencias significativas solo con el cultivo Pradera, siendo para el cultivo Poroto, mayor el Coeficiente Metabólico que para el cultivo Trigo y cultivo Pradera respectivamente. Además se demostró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras testigo y las con 20 y 30 Mg compost ha⁻¹, siendo directamente proporcional el Coeficiente Metabólico con la adición de compost a los suelos.

Como es esperable el compost estimula la actividad biológica del suelo.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente estudio, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Luego de caracterizar las muestras de suelos, en cuanto a pH, humedad, capacidad máxima de retención de agua, carbono orgánico y nitrógeno total; podemos decir que para los contenidos de Carbono y Nitrógeno total, si bien no existe un efecto estadísticamente significativo de parte de los factores estudiados (compost; cultivo), ambos contenidos totales aumentan por efecto del compost en forma no proporcional a la dosis solo para el cultivo poroto.
2. La humedad es un parámetro muy variable ya que depende de las condiciones ambientales, a pesar de ello, en este caso tiene validez su comparación ya que las condiciones son controladas y el riego es homogéneo en todos los tratamientos. Por tanto podría decirse que el cultivo Pradera conserva o retiene mejor la humedad que los otros cultivos utilizados.
3. El aporte orgánico que el compost significa para los suelos, no incrementó la WHC.
4. Al realizar un estudio cualitativo de las fracciones orgánicas poliméricas; ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, podemos decir que aplicación de compost incrementa en cantidad la Humina, es decir la fracción más estable en función de disminuir levemente las fracciones menos poliméricas como son HA y FA.
5. Los contenidos encontrados en el HA (40-50%) y FA (10-30%) son los habituales para estos compuestos y coinciden con los descritos por Schnitzer (1978) y otros trabajos previos.
6. Al establecer relaciones entre las diferentes rotaciones de cultivo y las características de la materia orgánica presente en los suelos, podemos decir que la mayor actividad de deshidrogenasas en el cultivo Poroto indica que este vegetal tiene un efecto positivo sobre la microflora del suelo estimulando su actividad.
7. Luego de determinar la evolución de dióxido de carbono en un período de tiempo establecido, la biomasa microbiana expresada en carbono y establecer el cociente metabólico ($Q_{CO_2} = \text{mg } CO_2 / \text{mg biomasa C}$) de los suelos en estudio; se encontró, como era esperable, que el compost estimula la actividad biológica de ellos.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, M., Borie, G., Galindo, G., Peirano, P., 1997, "Organic matter in volcanic soils in Chile Chemical and Biochemical-characterization", *Communications in Soil Science and plant Análisis*, Vol 28, Iss 11-12, pp. 899-912.
2. Aguilera, S., Borie, G., Milla, P., Peirano, P., 1987, "Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas: Determinación de hidratos de Carbono", *Agricultura Técnica, Chile*, 47(3): pp.240-247.
3. Aguilera, S., Borie, G., Rokov, P., Peirano, P., 1988, "Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas: Determinación de Deshidrogenasas", *Agricultura Técnica, Chile*, 48(2): pp.147-151.
4. Bulluck, L., M, Brosius, G. Evanylo and J. Ristaino, 2002, " Organic and Synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms". *Applied Soil Ecology* 19: pp.147-160
5. Iribarra, P., 1987, "Velocidad de humificación de Carbono 14 en suelos volcánicos chilenos", Tesis de grado para optar al título de Químico Farmacéutico, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.
6. Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982, "Nitrogen-Inorganic Forms", *Methods of soils Analysis. Part 2 (Agronomy 9)*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.643-698.
7. Miller, R., Donahue, R., 1990, "Soils. An Introduction to Soils and Plant Growth", 6^{ta} edición, New York, pp.756.
8. Schnitzer M., 1978. *Humic Substances: Chemistry and Reactions*. En Schnitzer M., Khan S.U. *Soil Organic Matter*. Elsevier Science Publishers. New York. pp.1-64.
9. Soil science of America, 1965. "Glossary of soil science term. *Soil Science Soc. Am*". *Proc.*29 (3); pp.330-351
10. Sposito, G., 1992, "The Chemistry of soils", Oxford University Press, New York.
11. Stevenson, FJ, 1986, "Humus Chemistry, genesis, composition, reactions", John Wiley and Sons, New York, pp.443.

12. Zunino, H., Borie, F., 1985, "Materia orgánica y procesos biológicos en suelos volcánicos de Chile". Toso, J. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile, pp.443-490.

ANEXOS

Tabla N° 1: Resumen análisis estadístico para humedad.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^A
Test	7,10	19,84	8,51
8	6,09	17,89	7,83
20	5,91	15,53	8,88
30	6,52	13,21	11,06

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para humedad - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	5,39696	3	1,79899	0,41	0,7495
B:cultivo	224,483	2	112,241	25,81	0,0011
RESIDUOS	26,0884	6	4,34807		
TOTAL (CORREGIDO)	255,968	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para humedad según cultivo

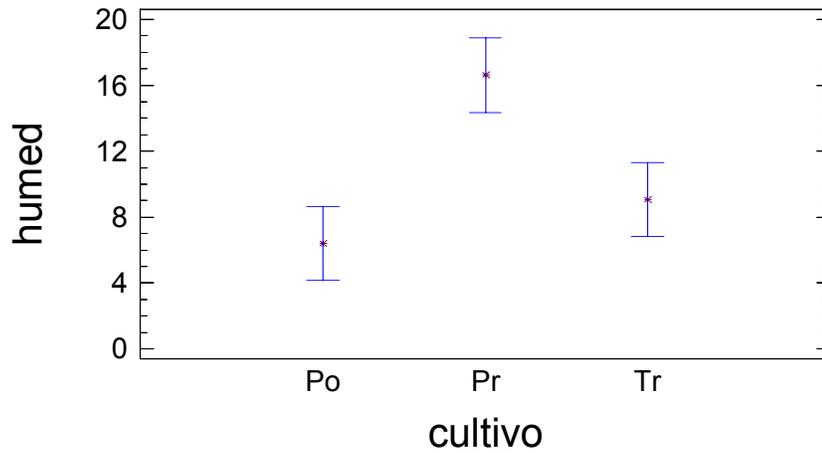
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Po	4	6,405	1,0426	X
Tr	4	9,07	1,0426	X
Pr	4	16,6175	1,0426	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*-10,2125	4,52408
Po - Tr	-2,665	4,52408
Pr - Tr	*7,5475	4,52408

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



2.- CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA (WHC)

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para WHC - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	61,6655	3	20,5552	0,31	0,8205
B:cultivo	12,5735	2	6,28676	0,09	0,9119
RESIDUOS	402,756	6	67,126		
TOTAL (CORREGIDO)	476,995	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

3.- HIDRATOS DE CARBONO SOLUBLES

Tabla N° 2: Datos de Absorbancia y ecc. Para determinar Hidratos de Carbono.

Suelo	Abs HC sol	Abs HC tot
Po test	0,06	0,04
Po 8	0,06	0,07
Po 20	0,06	0,04
Po 30	0,05	0,04
Pr test	0,02	0,04
Pr 8	0,03	0,02
Pr 20	0,04	0,04
Pr 30	0,04	0,04
Tr test	0,03	0,12
Tr 8	0,02	0,08
Tr 20	0,04	0,03
Tr 30	0,02	0,03

Ecc $0,002X - 0,004 = Y$

$r = 0,9992$

Tabla N° 3: Resumen análisis estadístico para Hidratos de Carbono Solubles.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^B
Test	28,68	11,93	14,56
8	30,06	15,92	8,87
20	26,29	21,42	16,51
30	24,26	19,45	11,83

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para H d C solub - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	20,4798	3	6,82659	0,48	0,7060
B:cultivo	436,815	2	218,407	15,46	0,0043
RESIDUOS	84,7488	6	14,1248		
TOTAL (CORREGIDO)	542,043	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

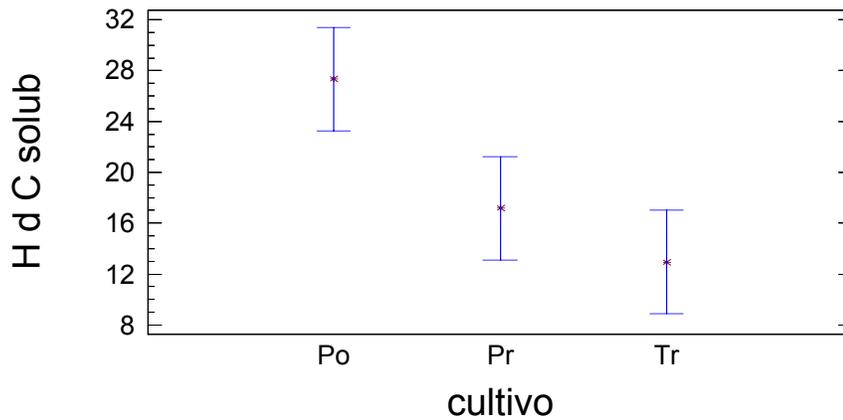
Contraste Múltiple de Rangos para H d C solub según cultivo

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tr	4	12,9425	1,87915	X
Pr	4	17,18	1,87915	X
Po	4	27,3225	1,87915	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*10,1425	8,15405
Po - Tr	*14,38	8,15405
Pr - Tr	4,2375	8,15405

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



4.- HIDRATOS DE CARBONO TOTALES

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para H d C Tot - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	114,043	3	38,0142	0,60	0,6360
B:cultivo	69,6192	2	34,8096	0,55	0,6019
RESIDUOS	377,588	6	62,9313		
TOTAL (CORREGIDO)	561,25	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

5.- BIOMASA

Tabla N°4: Resumen análisis estadístico para biomasa.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^A
Test	105,46	212,28	141,20
8	60,14	194,84	89,91
20	101,20	166,32	133,59
30	96,85	193,85	174,24

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para biomasa - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	3169,56	3	1056,52	2,24	0,1837
B:cultivo	20483,0	2	10241,5	21,75	0,0018
RESIDUOS	2825,24	6	470,874		
TOTAL (CORREGIDO)	26477,8	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para biomasa según cultivo

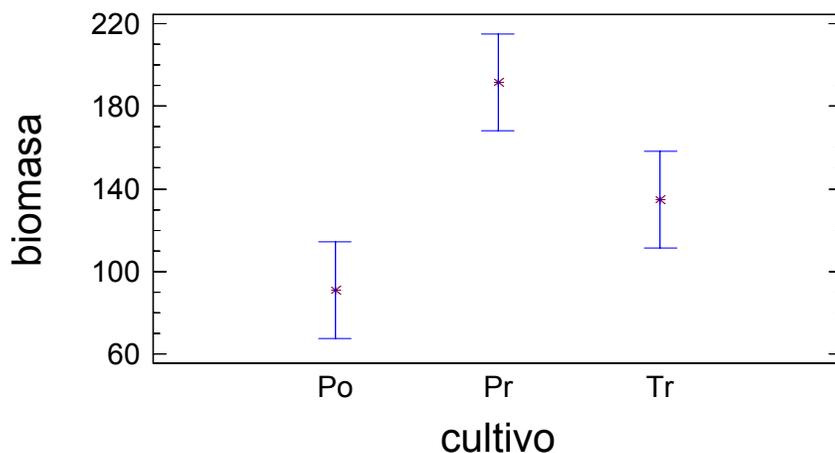
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Po	4	90,9125	10,8498	X
Tr	4	134,735	10,8498	X
Pr	4	191,823	10,8498	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*-100,91	47,0798
Po - Tr	-43,8225	47,0798
Pr - Tr	*57,0875	47,0798

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



6.- RESPIRACION

Tabla N°5: Resumen análisis estadístico para respiración.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^w	18,09	4,14	10,73
8^w	51,79	11,23	30,62
20^x	70,89	84,48	80,02
30^x	101,93	105,14	104,68

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para respiración - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	16323,3	3	5441,1	38,68	0,0003
B:cultivo	178,566	2	89,2829	0,63	0,5623
RESIDUOS	843,924	6	140,654		
TOTAL (CORREGIDO)	17345,8	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para respiración según compost

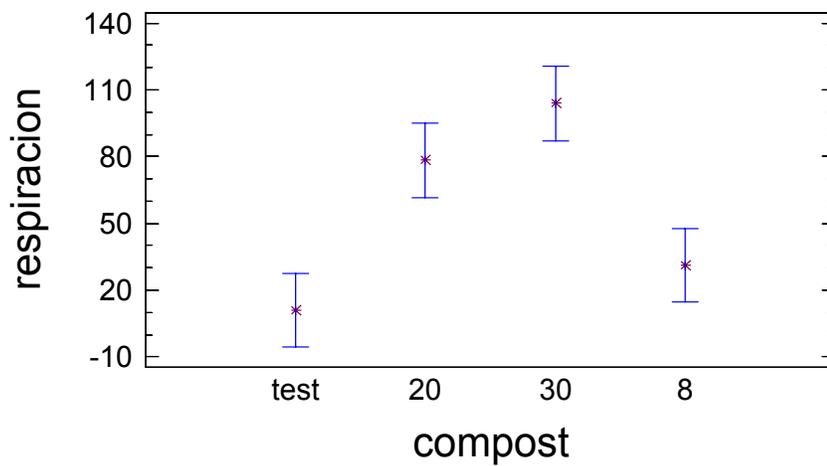
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
test	3	10,9867	6,84724	X
8	3	31,2133	6,84724	X
20	3	78,4633	6,84724	X
30	3	103,917	6,84724	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	*-67,4767	33,4107
test - 30	*-92,93	33,4107
test - 8	-20,2267	33,4107
20 - 30	-25,4533	33,4107
20 - 8	*47,25	33,4107
30 - 8	*72,7033	33,4107

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



7.- CUOCIENTE METABOLICO (Q CO₂)

Tabla N°6: Datos de Absorbancia y ecc. Para determinar DH.

Suelo	Abs
Po test	0,64
Po 8	0,40
Po 20	0,44
Po 30	0,58
Pr test	0,38
Pr 8	0,18
Pr 20	0,31
Pr 30	0,21
Tr test	0,17
Tr 8	0,18
Tr 20	0,23
Tr 30	0,18

$$\text{Ecc } 0,04X + 0,01 = Y$$

$$r = 0,9999$$

Tabla N°7: Resumen análisis estadístico para Q CO₂.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^{A,B}
Test ^w	0,17	0,02	0,08
8 ^{w,x}	0,86	0,06	0,34
20 ^x	0,70	0,51	0,60
30 ^x	1,05	0,54	0,60

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo ($P \leq 0,05$), w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para Q CO₂ - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,695825	3	0,231942	8,95	0,0124
B:cultivo	0,359017	2	0,179508	6,93	0,0276
RESIDUOS	0,15545	6	0,0259083		
TOTAL (CORREGIDO)	1,21029	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para Q CO₂ según compost

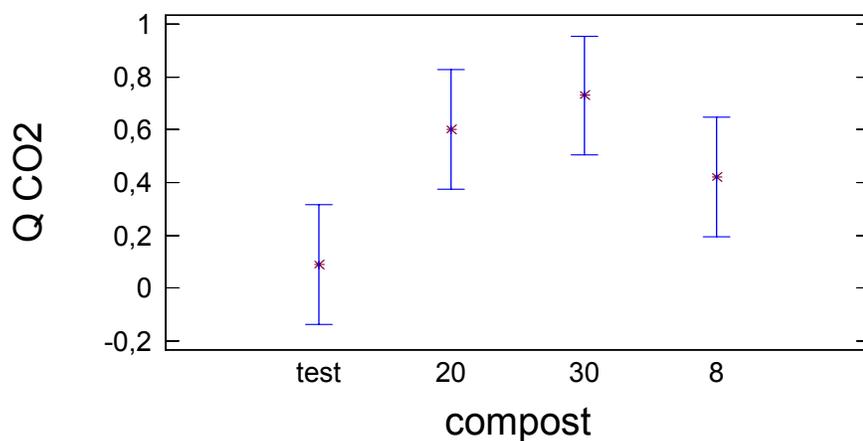
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
test	3	0,09	0,0929307	X
8	3	0,42	0,0929307	XX
20	3	0,603333	0,0929307	X
30	3	0,73	0,0929307	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	*-0,513333	0,45345
test - 30	*-0,64	0,45345
test - 8	-0,33	0,45345
20 - 30	-0,126667	0,45345
20 - 8	0,183333	0,45345
30 - 8	0,31	0,45345

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



Contraste Múltiple de Rangos para Q CO₂ según cultivo

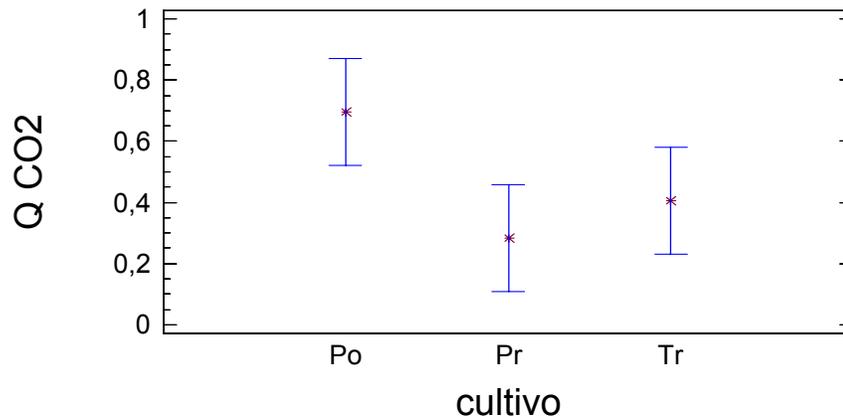
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Pr	4	0,2825	0,0804803	X
Tr	4	0,405	0,0804803	XX
Po	4	0,695	0,0804803	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*0,4125	0,349222
Po - Tr	0,29	0,349222
Pr - Tr	-0,1225	0,349222

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



8.- DESHIDROGENASA (DH)

Tabla N°8: Resumen análisis estadístico para DH.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^B
Test	562,40	322,90	145,30
8	341,40	185,10	172,00
20	426,30	282,60	207,30
30	517,00	187,80	165,00

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para DH - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	19010,4	3	6336,79	1,45	0,3194
B:cultivo	181488,0	2	90743,8	20,73	0,0020
RESIDUOS	26262,2	6	4377,03		
TOTAL (CORREGIDO)	226760,0	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

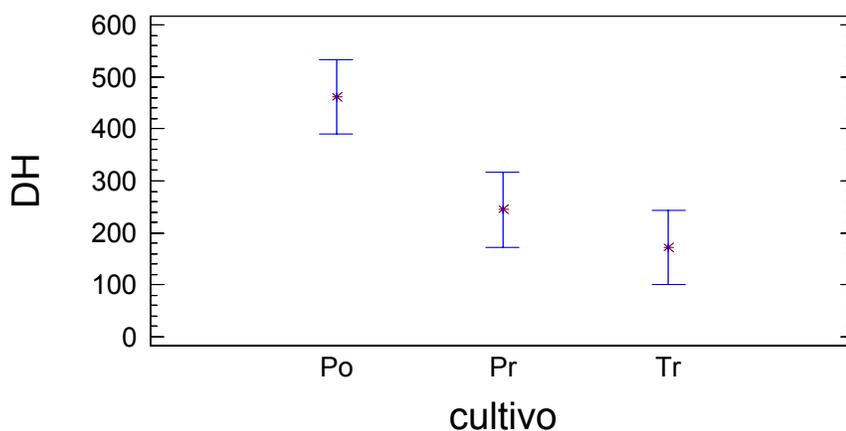
Contraste Múltiple de Rangos para DH según cultivo

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Tr	4	172,4	33,0796	X
Pr	4	244,6	33,0796	X
Po	4	461,775	33,0796	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*217,175	143,54
Po - Tr	*289,375	143,54
Pr - Tr	72,2	143,54

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



9.- FRACCIONAMIENTO

9.1 % HUMINA

Tabla N°9: Resumen análisis estadístico para % HUMINA.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^w	70,7	71,5	69,9
8^{w,x}	70	74,11	72,48
20^x	75,02	76,63	72,79
30^{w,x}	73,93	73,92	75,11

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para %humina - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	32,8971	3	10,9657	5,59	0,0359
B:cultivo	6,44595	2	3,22297	1,64	0,2698
RESIDUOS	11,7736	6	1,96226		
TOTAL (CORREGIDO)	51,1166	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para % humina según compost

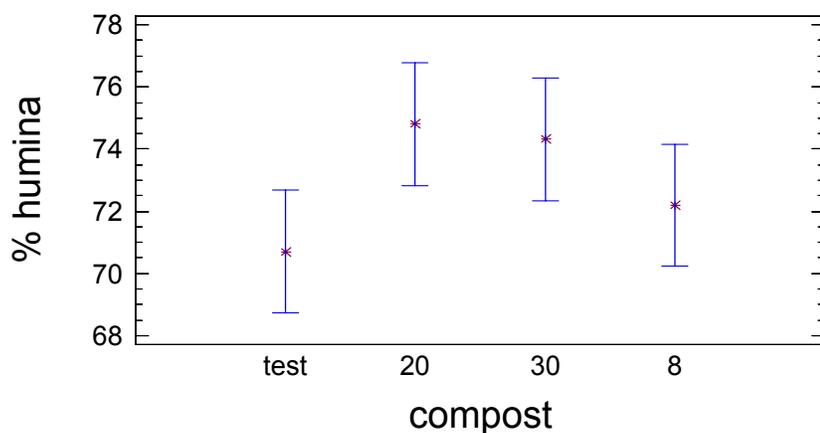
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
test	3	70,7	0,808757	X
8	3	72,1967	0,808757	XX
30	3	74,32	0,808757	XX
20	3	74,8133	0,808757	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	*-4,11333	3,94628
test - 30	-3,62	3,94628
test - 8	-1,49667	3,94628
20 - 30	0,493333	3,94628
20 - 8	2,61667	3,94628
30 - 8	2,12333	3,94628

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



9.2 %ACIDO HUMICO (HA)

Tabla N°10: Resumen análisis estadístico para % (HA).

Tipo	Po	Pr	Tr
Test ^w	2,5	1,5	2,7
8 ^{w,x}	2,4	1,4	1,41
20 ^{w,x}	1,44	1,59	1,01
30 ^x	1,32	0,65	0,88

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para %HA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	2,70607	3	0,902022	5,01	0,0449
B:cultivo	0,820467	2	0,410233	2,28	0,1834
RESIDUOS	1,07933	6	0,179889		
TOTAL (CORREGIDO)	4,60587	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para %HA según compost

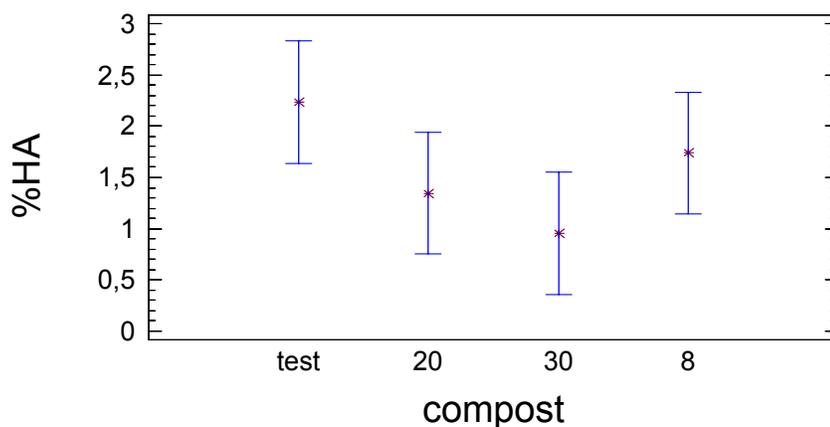
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	3	0,95	0,244873	X
20	3	1,34667	0,244873	XX
8	3	1,73667	0,244873	XX
test	3	2,23333	0,244873	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	0,886667	1,19484
test - 30	*1,28333	1,19484
test - 8	0,496667	1,19484
20 - 30	0,396667	1,19484
20 - 8	-0,39	1,19484
30 - 8	-0,786667	1,19484

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



9.3 %ACIDO FULVICO (FA)

Tabla N°11: Resumen análisis estadístico para % (FA).

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^{w,x}	1,31	1,61	1,64
8^w	1,45	2,44	2,75
20^{w,x}	1,34	1,14	1,01
30^x	1,19	0,55	1,01

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para %FA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	2,86247	3	0,954156	5,19	0,0419
B:cultivo	0,158817	2	0,0794083	0,43	0,6679
RESIDUOS	1,10298	6	0,183831		
TOTAL (CORREGIDO)	4,12427	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

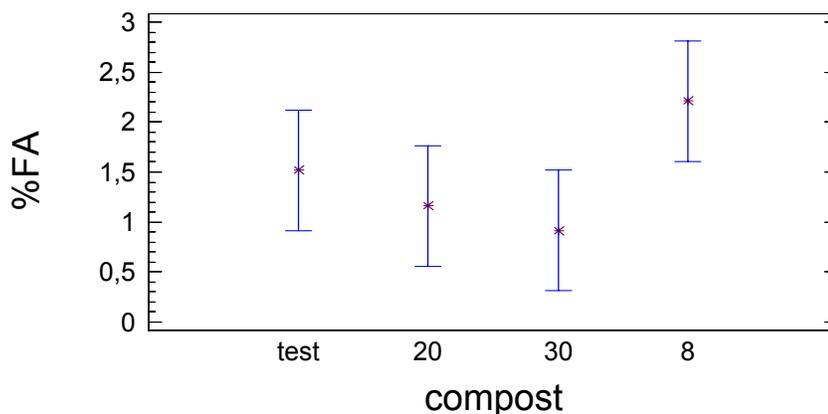
Contraste Múltiple de Rangos para %FA según compost

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	3	0,916667	0,247542	X
20	3	1,163333	0,247542	XX
test	3	1,52	0,247542	XX
8	3	2,213333	0,247542	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	0,356667	1,20786
test - 30	0,603333	1,20786
test - 8	-0,693333	1,20786
20 - 30	0,246667	1,20786
20 - 8	-1,05	1,20786
30 - 8	*-1,29667	1,20786

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



10.- CONTENIDO DE CARBONO EN LAS FRACCIONES

10.1 % DE CARBONO TOTAL

Análisis de la Varianza para %C tot - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,628225	3	0,209408	0,61	0,6349
B:cultivo	0,0744667	2	0,0372333	0,11	0,8996
RESIDUOS	2,0734	6	0,345567		
TOTAL (CORREGIDO)	2,77609	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

10.2 % DE CARBONO EN LA HUMINA

Análisis de la Varianza para %C hum - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,0420917	3	0,0140306	3,86	0,0748
B:cultivo	0,01415	2	0,007075	1,95	0,2228
RESIDUOS	0,0217833	6	0,00363056		
TOTAL (CORREGIDO)	0,078025	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

10.3 % DE CARBONO EN ACIDO HUMICO

Análisis de la Varianza para %C HA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	101,037	3	33,679	1,01	0,4513
B:cultivo	86,1703	2	43,0852	1,29	0,3418
RESIDUOS	200,258	6	33,3763		
TOTAL (CORREGIDO)	387,465	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

10.4 % DE CARBONO EN ACIDO FULVICO

Tabla N°12: Resumen análisis estadístico para % C en FA.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^{w,x}	18,57	17,74	17,16
8^w	17,4	11,05	9,17
20^{w,x}	21,6	19,55	19,06
30^x	20,64	30,55	26,04

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para %C FA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	269,177	3	89,7258	6,52	0,0257
B:cultivo	8,50687	2	4,25343	0,31	0,7451
RESIDUOS	82,5617	6	13,7603		
TOTAL (CORREGIDO)	360,246	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para %C FA según compost

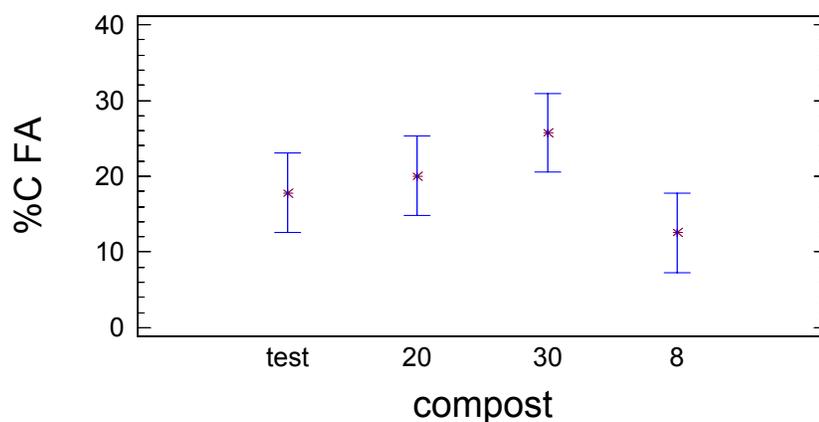
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
8	3	12,54	2,14167	X
test	3	17,8233	2,14167	XX
20	3	20,07	2,14167	XX
30	3	25,7433	2,14167	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	-2,24667	10,4502
test - 30	-7,92	10,4502
test - 8	5,28333	10,4502
20 - 30	-5,67333	10,4502
20 - 8	7,53	10,4502
30 - 8	*13,2033	10,4502

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



11.- BALANCE DE CARBONO

11.1 % DE CARBONO TOTAL EN LA HUMINA

Análisis de la Varianza para %C tot hum - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,0215	3	0,00716667	2,33	0,1738
B:cultivo	0,0126167	2	0,00630833	2,05	0,2095
RESIDUOS	0,01845	6	0,003075		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0525667	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

11.2 % DE CARBONO TOTAL EN ACIDO HUMICO

Tabla N°13: Resumen análisis estadístico para % Ctot en HA.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test ^w	1,11	0,73	0,98
8 ^{w,x}	0,85	0,72	0,72
20 ^{w,x}	0,71	0,81	0,52
30 ^x	0,67	0,34	0,39

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para %C tot HA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,347492	3	0,115831	6,78	0,0235
B:cultivo	0,09005	2	0,045025	2,64	0,1508
RESIDUOS	0,102483	6	0,0170806		
TOTAL (CORREGIDO)	0,540025	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

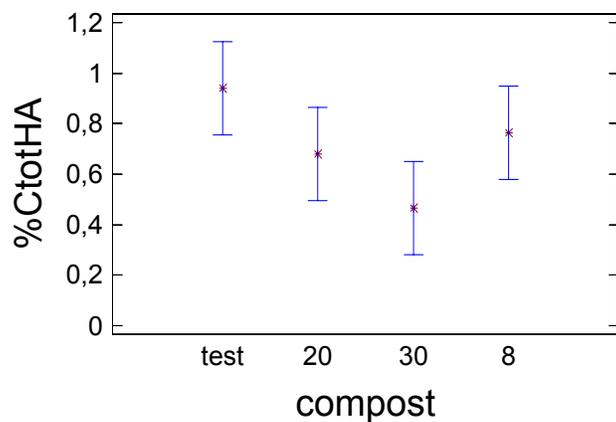
Contraste Múltiple de Rangos para %C tot HA según compost

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	3	0,466667	0,0754554	X
20	3	0,68	0,0754554	XX
8	3	0,763333	0,0754554	XX
test	3	0,94	0,0754554	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	0,26	0,36818
test - 30	*0,473333	0,36818
test - 8	0,176667	0,36818
20 - 30	0,213333	0,36818
20 - 8	-0,0833333	0,36818
30 - 8	-0,296667	0,36818

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



11.3 % DE CARBONO TOTAL EN ACIDO FULVICO

Análisis de la Varianza para %C tot FA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,003425	3	0,00114167	0,63	0,6243
B:cultivo	0,00065	2	0,000325	0,18	0,8411
RESIDUOS	0,01095	6	0,001825		
TOTAL (CORREGIDO)	0,015025	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

12.- CONTENIDO DE NITROGENO ORGANICO

12.1 % NITROGENO TOTAL

Análisis de la Varianza para %N tot - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,003825	3	0,001275	0,42	0,7445
B:cultivo	0,000316667	2	0,000158333	0,05	0,9494
RESIDUOS	0,01815	6	0,003025		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0222917	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

12.2 % DE NITROGENO EN LA HUMINA

Tabla N°14: Resumen análisis estadístico para % N en Humina.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^w	0,11	0,12	0,1
8^{w,x}	0,11	0,11	0,09
20^{w,x}	0,11	0,12	0,06
30^x	0,07	0,07	0,07

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para % N hum - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,00276667	3	0,000922222	4,88	0,0474
B:cultivo	0,0014	2	0,0007	3,71	0,0895
RESIDUOS	0,00113333	6	0,000188889		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0053	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para % N hum según compost

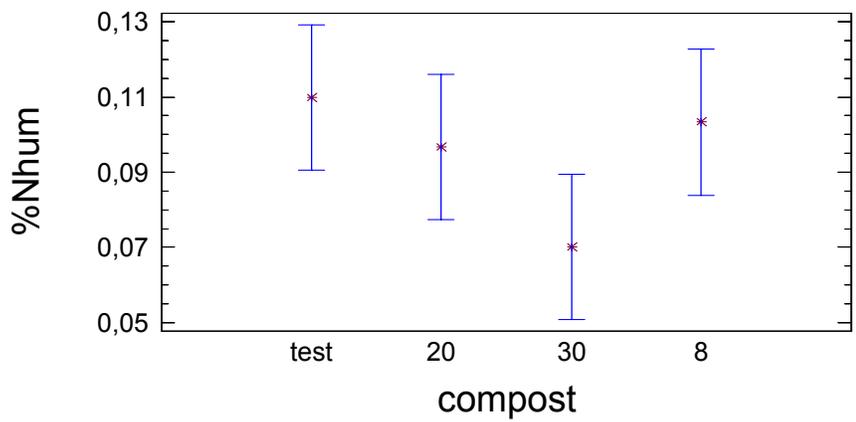
Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	3	0,07	0,00793492	X
20	3	0,0966667	0,00793492	XX
8	3	0,103333	0,00793492	XX
test	3	0,11	0,00793492	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
test - 20	0,0133333	0,038718
test - 30	*0,04	0,038718
test - 8	0,00666667	0,038718
20 - 30	0,0266667	0,038718
20 - 8	-0,00666667	0,038718
30 - 8	-0,0333333	0,038718

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



12.3 % DE NITROGENO EN ACIDO HUMICO

Análisis de la Varianza para %N HA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,476292	3	0,158764	1,00	0,4562
B:cultivo	0,427467	2	0,213733	1,34	0,3301
RESIDUOS	0,956333	6	0,159389		
TOTAL (CORREGIDO)	1,86009	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

12.4 % DE NITROGENO EN ACIDO FULVICO

Tabla N°15: Resumen análisis estadístico para % N en FA.

Tipo	Po	Pr	Tr
Test^{w,x}	1,41	1,35	1,22
8^w	1,24	0,89	0,71
20^{w,x}	1,72	1,58	1,39
30^x	1,5	2,09	1,87

w,x indican diferencias significativas entre muestras con diferente adición de compost ($P \leq 0,05$).

Análisis de la Varianza para %N FA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	1,23949	3	0,413164	7,87	0,0167
B:cultivo	0,0818667	2	0,0409333	0,78	0,5000
RESIDUOS	0,314933	6	0,0524889		
TOTAL (CORREGIDO)	1,63629	11			

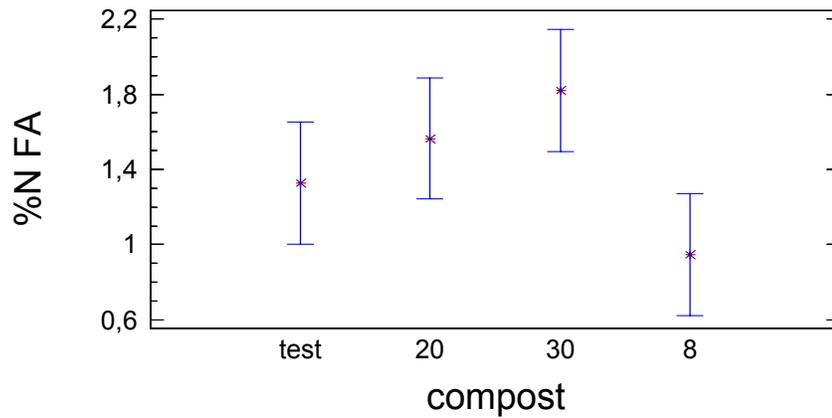
Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para %N FA según compost

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
compost	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
8	3	0,946667	0,132274	X
test	3	1,32667	0,132274	XX
20	3	1,56333	0,132274	XX
30	3	1,82	0,132274	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites	
test - 20	-0,236667		0,645421	
test - 30	-0,493333		0,645421	
test - 8	0,38		0,645421	
20 - 30	-0,256667		0,645421	
20 - 8	0,616667		0,645421	
30 - 8	*0,873333		0,645421	

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey



13.- BALANCE DE NITROGENO

13.1 % DE NITROGENO TOTAL EN HUMINA

Análisis de la Varianza para % N tot H - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,00113333	3	0,000377778	5,44	0,0510
B:cultivo	0,00065	2	0,000325	4,68	0,0596
RESIDUOS	0,000416667	6	0,0000694444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0022	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

13.2 % DE NITROGENO TOTAL EN ACIDO HUMICO

Análisis de la Varianza para % N tot HA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,00255833	3	0,000852778	4,58	0,0539
B:cultivo	0,000816667	2	0,000408333	2,19	0,1927
RESIDUOS	0,00111667	6	0,000186111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00449167	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

13.3 % DE NITROGENO TOTAL EN ACIDO FULVICO

Análisis de la Varianza para % N tot FA - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	0,0000333333	3	0,0000111111	0,57	0,6542
B:cultivo	0,0000166667	2	0,00000833333	0,43	0,6699
RESIDUOS	0,000116667	6	0,0000194444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,000166667	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

14.- CONTENIDO DE NITROGENO INORGANICO

14.1 NITROGENO INORGANICO COMO NH4+

Análisis de la Varianza para N NH4 - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	12,0399	3	4,01331	1,53	0,2998
B:cultivo	25,4953	2	12,7476	4,87	0,0554
RESIDUOS	15,7113	6	2,61854		
TOTAL (CORREGIDO)	53,2465	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

14.2 NITROGENO INORGANICO COMO NO3-

Tabla N°16: Resumen análisis estadístico para N como NO3-.

Tipo	Po ^A	Pr ^B	Tr ^A
Test	2,78	9,96	1,27
8	0,75	10,66	0,49
20	1,77	7,25	1,31
30	0,98	3,49	3,47

A,B indican diferencias significativas entre muestras con diferente cultivo (P≤0,05).

Análisis estadístico.

Análisis de la Varianza para N NO3 - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFECTOS PRINCIPALES					
A:compost	6,55817	3	2,18606	0,40	0,7568
B:cultivo	103,759	2	51,8794	9,55	0,0137
RESIDUOS	32,6009	6	5,43349		
TOTAL (CORREGIDO)	142,918	11			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Contraste Múltiple de Rangos para N NO3 según cultivo

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

cultivo	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Po	4	1,57	1,16549	X
Tr	4	1,635	1,16549	X
Pr	4	7,84	1,16549	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
Po - Pr	*-6,27	5,05734
Po - Tr	-0,065	5,05734
Pr - Tr	*6,205	5,05734

* indica una diferencia significativa.

Medias y 95,0 Porcentajes Intervalos HSD de Tukey

