

**CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO
UTILIZANDO ALGUNOS INDICADORES BIOLÓGICOS**

KATYA ELISE BOGADO FERIOLI

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

San Lorenzo – Paraguay

2013

**CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO
UTILIZANDO ALGUNOS INDICADORES BIOLÓGICOS**

KATYA ELISE BOGADO FERIOLI

Orientadora: Prof. Ing. Agr. (MSc.) **MARIA DEL PILAR GALEANO S.**

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) **CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN R.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Magíster en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

San Lorenzo – Paraguay

2013

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial

**CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO
UTILIZANDO ALGUNOS INDICADORES BIOLÓGICOS**

Esta tesis fue examinada y aprobada por la Mesa Examinadora como requisito para optar por el título de Magister en Ciencia del Suelo y Ordenamiento Territorial, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Autora: Ing. Agr. KATYA ELISE BOGADO FERIOLI.....

Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) María del Pilar Galeano Samaniego.....

Miembros del Comité Asesor:

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas.....

Prof. Ing. Agr. (Ph.D.) Héctor Javier Causarano Medina.....

Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) Diego Augusto Fatecha Fois.....

San Lorenzo – Paraguay

Abril, 2013

DEDICO

*A la Madre Mía, Virgencita de Guadalupe por su incondicional
apoyo durante toda mi vida*

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso y a la Virgen María de Guadalupe, por todas las bendiciones.

A mis Padres, quienes me han apoyado de forma incondicional dándome la oportunidad de culminar exitosamente mis estudios universitarios.

A mi compañero, amigo y novio Jorge Riveros, por ser alguien muy especial en mi vida, por su gran apoyo y cariño para la realización de este trabajo el cual hizo posible ver culminada mi meta

A los Profesores Carlos Leguizamón, Pilar Galeano, Héctor Causarano, Luis Maldonado, Ulises Riveros, Diego Fatecha por la orientación en la realización de la tesis; así como también a la Ing. Agr. Amabelia del Pino, por el apoyo recibido.

A la Q.A. Doralicia Zacarías, por el asesoramiento constante y por la ayuda en todas las cuestiones laborales.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por la beca y por todo el apoyo brindado para la realización del Curso de Maestría.

A toda la gran familia del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial, a sus docentes y personal administrativo, por permitir realizar mis experimentos en los laboratorios y por la predisposición de siempre durante la realización del trabajo de Tesis y la Maestría.

A mis colegas del curso de Maestría, por el apoyo, y la amistad brindada durante estos años de estudio.

A todas aquellas personas que forman parte de mi vida directa e indirectamente y que de alguna manera colaboraron para la culminación de esta tesis solo puedo decirles gracias.

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	x
RESUMO.....	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Calidad del suelo e indicadores biológicos.....	4
2.2. La biomasa microbiana y la actividad respiratoria.....	5
2.3. Carbono orgánico del suelo	10
2.4. Sistema de Siembra Directa.....	13
2.5 Sistema de siembra Convencional.....	15
2.6 Áreas boscosas.....	16
2.7 Áreas de pasturas.....	17
3. MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1 Local del experimento.....	18
3.2 Población de unidades y variables de medición.....	19
3.3 Diseño para la recolección de datos primarios.....	21
3.3.1 Descripción del proceso de recolección de datos primarios.....	21
3.3.1.1 Muestreo y procesamiento de muestras de suelo.....	21
3.4 Evaluaciones en laboratorio.....	22
3.4.1 Respiración de la biomasa microbiana.....	22
3.4.2 Biomasa microbiana.....	23
3.4.2.1 Carbono de la biomasa por el método de fumigación – extracción.....	23
3.4.3 Carbono Orgánico Total.....	23
3.5 Diseño Experimental.....	23
3.6 Análisis de datos.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
4.1 Carbono orgánico del suelo en cuatro sistemas de manejo.....	25

4.2 Biomasa microbiana en cuatro sistemas de manejo.....	27
4.3 Evolución de la Respiración microbiana en los cuatro sistemas de manejo..	31
4.4 Respiración microbiana en cuatro sistemas de manejo.....	33
4.5 Correlación entre la respiración microbiana y la biomasa microbiana entre las propiedades químicas del suelo	34
5. CONCLUSIONES.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

1.	Carbono orgánico en los suelos del mundo	13
2.	Tratamientos evaluados con sus respectivas profundidades.....	19
3.	Carbono orgánico del suelo.....	25
4.	Biomasa microbiana del suelo	27
5.	Respiración microbiana del suelo.....	33
6.	Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Bosque, Campo Natural, Siembra Directa y Siembra Convencional.....	34
7.	Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Bosque y Campo Natural.....	35
8.	Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Siembra Directa y Siembra Convencional.....	36

LISTA DE FIGURAS

1.	Ubicación de sitios de muestreo para su estudio. Mapa del Departamento de Alto Paraná, Distrito de Ñacunday, Paraguay.....	18
2.	Relación entre el carbono orgánico del suelo y el carbono orgánico de la biomasa microbiana en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,15 y 0,15-0,25 m.....	29
3.	Evolución de la Respiración microbiana en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,15 y 0,15-0,25 m, en distintos tiempos de incubación.....	31

CALIDAD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO UTILIZANDO ALGUNOS INDICADORES BIOLÓGICOS

Autora: KATYA ELISE BOGADO FERIOLI

Orientadora: Prof. Ing. Agr. (MSc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN R.

RESUMEN

Los conceptos de calidad del suelo consideran la capacidad de este de funcionar dentro de los límites del ecosistema para sustentar a la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas y animales. En este contexto, el objetivo del trabajo fue determinar la calidad del suelo utilizando algunos indicadores biológicos en diferentes sistemas de manejo, en un suelo de Departamento de Alto Paraná, Paraguay. Las variables determinadas fueron el contenido de carbono de la biomasa microbiana, el carbono total del suelo y la respiración de la biomasa microbiana. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en la concentración del carbono orgánico del suelo de bosque con respecto a los demás sistemas de manejo estudiados, con un promedio de $26,0 \text{ g. kg}^{-1}$. También en la profundidad de 0 a 0,05m, la cantidad de C orgánico en la biomasa microbiana del suelo con $267,9 \text{ mg C kg}^{-1}$, y la evolución de la respiración microbiana del suelo, presentaron diferencias significativas entre el sistema de bosque y los demás sistemas, no así en las diferentes profundidades de muestreo. Se concluyó que el sistema de bosque fue el que presentó mayor concentración de carbono orgánico tanto en el suelo como en la biomasa microbiana hasta los 25 cm. con respecto a los demás sistemas de manejo, mientras que la menor concentración se observó en el campo natural; la concentración de carbono orgánico del suelo fue disminuyendo a medida que aumento la profundidad de muestreo; la evolución de la respiración microbiana fue gradual a lo largo de las cinco mediciones, en los cuatro sistemas de manejo, siendo mayor en el sistema de bosque, hasta los 15 cm de profundidad y que existió una alta correlación entre la biomasa microbiana y el carbono orgánico del suelo en los sistemas naturales (bosque y campo natural) mientras que en los sistemas antrópicos (siembra directa y convencional) se observó una alta correlación entre la biomasa microbiana y el pH del suelo.

Palabras claves: biomasa microbiana, respiración microbiana, carbono orgánico.

QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO UTILIZANDO ALGUNS INDICADORES BIOLÓGICOS.

Autora: KATYA ELISE BOGADO FERIOLI

Orientadora: Prof. Ing. Agr. (M.Sc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN R.

RESUMO

Os conceitos da qualidade do solo consideram a capacidade deste de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi determinar a qualidade do solo utilizando alguns indicadores biológicos em diferentes sistemas de manejo, em um solo de Alto Departamento Paraná, Paraguai. As variáveis avaliadas foram os teores de carbono da biomassa microbiana, o carbono total do solo e respiração da biomassa microbiana. Diferenças estatisticamente significativa foram detectados na concentração de carbono orgânico no solo da floresta em relação a outros sistemas de manejo estudados, com uma média de 26,0 g. kg⁻¹. Também a profundidade de 0 a 0,05 m, a quantidade de carbono orgânico na biomassa microbiana do solo com 267,9 mg kg⁻¹, e a evolução da respiração microbiana do solo, apresentaram diferenças significativas entre o sistema florestal e outros sistemas, mas não nas diferentes profundidades de amostragem. Concluiu-se que o sistema de floresta foi apresentou maior concentração de carbono orgânico tanto no solo como na biomassa microbiana até 25 cm., com respeito a outros sistemas de manejo, enquanto que a concentração mais baixa foi observada no campo natural, a concentração de carbono orgânico do solo foi diminuindo à medida que a profundidade de amostragem aumentada, a evolução da respiração microbiana foi gradualmente ao longo das cinco medições nos quatro sistemas de manejo, sendo maior no sistema de floresta, até 15 cm de profundidade onde houve uma alta correlação entre a biomassa microbiana e o carbono orgânico do solo em sistemas naturais (florestas e campos natural), enquanto que os sistemas artificiais (plantio direto e convencional) mostrou uma alta correlação entre a biomassa microbiana e pH do solo.

Palavras-chave: biomassa microbiana, respiração microbiana, carbono orgânico.

SOIL IN DIFFERENT QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS USING BIOLOGICAL INDICATORS

Author: KATYA ELISE BOGADO FERIOLI

Advisor: Prof. Ing. Agr. (MSc.) MARÍA DEL PILAR GALEANO S.

Co- Advisor: Prof. Ing. Agr. (Dr.) CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN R.

SUMMARY

The concepts of soil quality considered the ability of this to function within ecosystem boundaries to sustain biological productivity, maintain environmental quality and promote health of plants and animals. In this context, the objective was to determine soil quality using some biological indicators in different management systems, in a soil of Alto Paraná Department, Paraguay. The measured variables were the contents of microbial biomass carbon, total soil carbon and microbial biomass respiration. Statistically significant differences were detected in the concentration of organic carbon in forest soil with respect to other management systems studied, with an average of $26,0 \text{ g kg}^{-1}$. Also in the depth of 0 to 0.05 m, the amount of organic carbon in soil microbial biomass C with $267,9 \text{ mg kg}^{-1}$, and changing soil microbial respiration, significant differences between the forest system and other systems, but not in the different sampling depths. It was concluded that the system of forest was presented the highest concentration of organic carbon in the soil as microbial biomass to 25 cm with respect to other management systems, while the lowest concentration was observed in the natural, the concentration of soil organic carbon was decreasing as sampling depth increased, the evolution of microbial respiration was gradually throughout the five measurements in the four management systems, being higher in the forest system, up to 15 cm depth and that there was a high correlation between microbial biomass and soil organic carbon in natural systems (forest and natural field) while in anthropogenic systems (direct and conventional planting) showed a high correlation between microbial biomass and soil pH.

Keywords: microbial biomass, microbial respiration, organic carbon

1. INTRODUCCION

Los conceptos de la calidad del suelo consideran la capacidad de este de funcionar dentro de los límites del ecosistema para sustentar a la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas y animales.

Alto Paraná, cubría su área departamental con bosques frondosos, sin embargo a partir de la década del 60 y especialmente la del 70, la cobertura boscosa se ha ido reduciendo debido a la explotación indiscriminada de la madera y al desmonte para la habilitación de lotes agrícolas, aunque actualmente existen planes de reforestación en la zona.

El sistema convencional de cultivo consiste en el laboreo del suelo antes de la siembra con maquina (arados) que corta e invierte total o parcialmente los primeros 15 cm de suelo. El suelo se afloja, airea y mezcla, lo que facilita el ingreso de agua, la mineralización de nutrientes y la reducción de plagas, animales y vegetales en superficie. Pero también se reduce rápidamente la cobertura de superficie, se aceleran los procesos de degradación de la materia orgánica y aumentan los riesgos de erosión.

Es por ello que el avance de nuevos sistemas conservacionistas de manejo de suelo está predestinado a la protección de ese recurso para el mejoramiento del mismo. Los sistemas son prácticas sencillas, económicas, orientadas al manejo del suelo y de los cultivos con la finalidad de reducir los riesgos de erosión y de mejorar la capacidad productiva del suelo.

El sistema de siembra directa también conocido como labranza cero sobre rastrojo, consiste en dejar sobre la superficie del suelo restos o rastrojos del cultivo anterior, sin la realización de ningún movimiento de suelo sino que se siembra directamente depositando la semilla en un corte vertical de pocos centímetros, que se realiza con una cuchilla circular, luego se entierra la semilla en el surco de siembra para permitir un contacto mínimo con el suelo húmedo.

En teoría, la calidad del suelo es mayor cuando el número y la diversidad de los microorganismos son elevados. Las poblaciones de microorganismos del suelo son fácilmente afectadas por disturbios ya sean físicos, causados por los cultivos, o el manejo de químicos, a través de aplicaciones de fertilizantes o plaguicidas en el suelo.

Esta biomasa microbiana del suelo hace posible la degradación de los diferentes materiales orgánicos disponibilizando los nutrientes para las plantas. Representa la parte viva de la materia orgánica del suelo y contiene en media de 2 a 5% del carbono orgánico, de 1 a 5% del nitrógeno orgánico y de 2 a 20% de fósforo orgánico en suelos tropicales (Smith & Paul 1990).

Existen varios métodos que utilizan indicadores biológicos como indicadores de calidad donde a través de la incorporación de residuos orgánicos en el suelo miden la respiración de los microorganismos presentes por medio de la liberación de anhídrido carbónico (CO_2) en muestras colectadas en el campo, siendo la calidad del carbono liberado, un índice del carbono metabolizable del suelo.

El carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total del suelo expresan procesos que se encuentran relacionados con las adiciones y transformaciones de la materia orgánica así como también la eficaz conversión del carbono a carbono microbiano.

Los indicadores biológicos como el carbono de la biomasa microbiana y la

tasa de respiración basal son de fundamental importancia en la determinación de la calidad del suelo y están relacionados con la presencia y actividad de los microorganismos, representando un potencial como herramienta de monitoreo de la eficacia de un proceso mejorador del suelo.

El presente trabajo tuvo por objetivo general determinar la calidad del suelo en diferentes sistemas de manejo, utilizando algunos indicadores biológicos. Como objetivos específicos se evaluó la actividad microbiana del suelo a través de la producción de CO₂ o tasa de respiración basal en tres profundidades; se determinó la biomasa microbiana en tres diferente profundidades del suelo y diferentes sistemas de manejo.

La hipótesis del presente trabajo fue que los suelos bajo un área de Bosque tienen mayor actividad (tasa de respiración y biomasa microbiana) que los suelos bajo los demás sistemas de manejo estudiados, a diferentes profundidades, siendo por tanto de mejor calidad.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Calidad del suelo e indicadores biológicos

Un concepto de interés creciente es la “salud del suelo o la calidad del suelo”. El número, la diversidad y la distribución de los microorganismos reflejan la productividad general del suelo. Estos microorganismos participan en la génesis de su ambiente (Coyne 2000).

Doran & Parkin (1994), definen la calidad del suelo como la capacidad de un suelo de funcionar dentro de los límites del ecosistema para sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud vegetal y animal.

Parr et al. (1992), afirman que la calidad del suelo puede servir como un indicador de cambio en la capacidad del mismo para producir niveles óptimos de alimentos, manteniendo su integridad estructural y biológica.

Según Quiroga (2003), los índices de calidad de los suelos han sido desarrollados para evaluar los efectos del manejo en sistemas de producción agrícola y agrícola-ganadera y sobre esa base han desarrollado modelos que contienen varios indicadores.

Entre los indicadores de calidad del suelo se encuentran la estructura, la compactación e infiltración, la profundidad, la retención de humedad, la cobertura del suelo, la materia orgánica y el color del mismo, la erosión y la actividad biológica (Altieri & Nicholls 2002).

Dalurzo et al. (2002), afirman que no existen dudas de que muchos agricultores poseen sus propios indicadores para estimar la calidad del suelo o el estado fitosanitario de su cultivo. Algunos reconocen ciertas malezas que indican, por ejemplo, un suelo ácido o infértil. Para otros, la presencia de lombrices de tierra es un signo de un suelo vivo, y el color de las hojas refleja el estado nutricional de las plantas. En cualquier zona se podría compilar una larga lista de indicadores locales, el problema es que muchos de estos indicadores son específicos del sitio y cambian de acuerdo al conocimiento de los agricultores o a las condiciones de cada finca.

2.2. La biomasa microbiana y la actividad respiratoria

La biomasa microbiana es la masa de microorganismos vivos presentes en el suelo, actúa como transformadora de la materia orgánica en el ciclo de nutrientes y en el flujo de energía; por lo tanto se constituye en una fuente potencial de nitrógeno, fósforo, azufre y otros nutrientes (De Polli & Guerra 1992). Por definición, es la parte viva de la materia orgánica del suelo, excluyendo a las raíces y animales mayores que $5 \times 10 \mu\text{m}$. Con pocas excepciones, ella representa 2 a 3% del carbono orgánico del suelo, siendo que su presencia está relacionada directamente con el tenor de materia orgánica (Cardoso et al 1992).

Según los mismos autores, los microbiólogos fijaron el concepto de la relación directa entre el nivel de actividad de la biomasa microbiana con la fertilidad del suelo, tanto en ambientes naturales, como en aquellos manipulados por el hombre, volviéndose evidente la necesidad de desarrollar métodos simples y confiables para determinar a los microorganismos. Para cualquier dominio de la Ciencia del Suelo, es interesante determinar las cantidades de C, N o P que entran en la composición de su compartimiento vivo, o sea, la biomasa microbiana.

El tratamiento del suelo afecta a la distribución y a las clases de poblaciones microbianas. Después de arar la tierra, aumenta la actividad microbiana en todas las profundidades de la capa directamente afectada por la acción del arado. Esto puede deberse a la rotura de los agregados, a una mejor ventilación y a la incorporación de materia orgánica adicional en el suelo (Coyne 2000).

Los microorganismos desempeñan un papel importante en el ciclo de degradar y sintetizar compuestos orgánicos debido a que al morir liberan energía de sus constituyentes que vuelven a ser disponibles para el crecimiento de nuevos organismos en el sistema. Las lombrices de tierra contribuyen tanto en la formación del suelo como en la estructuración de los horizontes (Bal 1993).

Los microorganismos del suelo utilizan enzimas para romper los compuestos orgánicos a formas más fácilmente metabolizables; inician la degradación con enzimas extracelulares que se mueven por difusión, entran en contacto con los compuestos y los transforman en compuestos más pequeños que se difunden a la célula, utilizándose como fuente de energía para el crecimiento microbiano (USDA NRCS. Soil Biology for the Northern Great Plains 1999).

Breure (2004), pone de relieve la importancia de la actividad biológica y la biodiversidad en la capacidad funcional de los suelos. La actividad biológica está principalmente concentrada en la capa superficial del suelo. Los componentes biológicos de la misma ocupan una fracción mínima (el 0,5% en volumen) del suelo y un 10% de la fracción orgánica. Los microorganismos del suelo son responsables de la mayor parte de la actividad biológica asociada a los procesos de regulación de los ciclos de los nutrientes y de la descomposición de los residuos orgánicos, de entre el 60 y el 80%.

La actividad microbiana comúnmente se estudia mediante la biomasa, la actividad enzimática y la actividad respiratoria o producción de CO₂ (Borie et al. 1999). Sin embargo, esta actividad también se puede determinar mediante estimación

de adenosina trifosfato (ATP), estimación de la energía de carga del adelnato (AEC) y liberación de calor, entre otras (Alff y Nannipieri 1995).

El 2 a 3% del carbono presente en el suelo está constituido por la biomasa microbiana; y existe una relación directa entre el nivel de actividad microbiana y la fertilidad del suelo, tanto en ambientes naturales como en aquellos manejados por el hombre (Cerri et al. 1992).

La mineralización del nitrógeno es el proceso de transformación de nitrógeno orgánico en nitrato, ión preferentemente absorbido por las plantas (Victoria et al. 1992). Simultáneamente al proceso de mineralización, puede ocurrir la inmovilización, donde el nitrógeno mineralizado es utilizado por los microorganismos para luego ser liberados nuevamente con la muerte de éstos (Colozzi & Balota 1997).

Los efectos prácticos de los procesos de mineralización-inmovilización se presentan cuando residuos culturales con alta relación C/N (superior a 30:1) provocan un aumento en la población microbiana con elevada demanda de N, que será inmovilizado en su masa celular, lo que puede causar deficiencia en el cultivo en desarrollo, en caso de que no sea adicionado N (nitrógeno) vía fertilizante. Sin embargo, la población microbiana no se mantiene creciendo indefinidamente y a partir del punto en que el carbono fácilmente oxidable desaparece y el sistema en descomposición alcanza una relación C/N inferior a 25, se inicia la liberación de N para las plantas (Bartz 1998).

El potencial de mineralización en el suelo depende de factores ambientales como temperatura, humedad, aireación, pH, fertilidad; adsorción a las arcillas, de enzimas y compuestos orgánicos; de la cantidad y calidad de los residuos agregados y del manejo de suelo (Colozzi & Balota 1997).

La respiración basal del suelo es uno de los métodos más simples y rápidos para determinar la actividad microbiana. No posee requerimientos con respecto al

muestreo de suelo y toma en consideración la contribución de las raíces o residuos vegetales a la evolución del anhídrido carbónico (CO_2), así como la influencia de la relación carbono/nitrógeno (C/N) en la calidad del sustrato (Nordgren 1995); semejante metodología fue adoptada por Frioni (1987) para realizar la evaluación de la actividad biológica global del suelo a través del anhídrido carbónico (CO_2) liberado por el suelo con el agregado de sustancias como abonos verdes, pajas, fertilizantes, etc.

La actividad respiratoria, medida por la producción de CO_2 es un indicador de la actividad de los organismos aerobios del suelo. La producción de CO_2 puede variar con la calidad del material orgánico aportado al suelo y con variaciones estacionales definidas por el clima. También es sensible a las alteraciones producidas por los sistemas de labranza y rotaciones de cultivo. La rotación de cultivo y la práctica de abonado orgánico tienen impacto positivo sobre el C orgánico del suelo y sobre la biomasa microbiana (Martínez 2008).

Beare et al. (2002), concluyen que la respiración inducida en sustratos mide la cantidad de biomasa microbiana potencialmente activa, más que la actividad de la biomasa específica en el tiempo del ensayo; y debido a que la actividad microbiana es responsable directa de la pérdida de masa desde la descomposición de residuos de plantas en la mayoría de los sistemas agrícolas, el volumen de la biomasa metabólicamente activa puede ser relacionada con la cantidad de masa perdida.

Reicosky (1996), concluyó que la cantidad y calidad del carbono agregado como rastrojo y el tipo e intensidad de labranza empleada afectan el contenido de carbono en el suelo; esto evidencia la compleja interacción entre procesos determinados por los ingresos de carbono y las tasas de descomposición microbiana de los rastrojos.

Balota et al. (1998), obtuvieron un valor medio total de incremento de la respiración basal de 73% mayor en siembra directa comparado con manejo convencional; y una relación carbono microbiano/carbono orgánico equivalente a la cantidad de anhídrido carbónico (CO₂) liberado por unidad de biomasa microbiana en un periodo de tres meses, 95% superior en siembra directa comparado con el sistema convencional.

Kayser & Scholles (1996), concluyeron que las preparaciones conservacionistas de suelo con leguminosas presentan mayores actividades microbianas en la capa superficial, evaluadas por la liberación de CO₂ y la producción de nitrógeno mineral, ambas con 80% de correlación; sin embargo, Pfuller et al. (2000), al comparar el sistema convencional con el sistema de siembra directa, no encontraron diferencia significativa entre ambos sistemas en cuanto a la población microbiana del suelo.

Fries (1997), determinó que próxima a la superficie del suelo, la mineralización del nitrógeno orgánico decrece al mismo tiempo que aumenta la inmovilización de fertilizantes nitrogenados, cuando las plantas de cobertura poseen altas relaciones carbono/nitrógeno (C/N).

La incorporación de residuos vegetales favorece el ataque microbiano al rastrojo, acelera su descomposición y disminuye los restos remanentes; y, el tipo ideal de cobertura del suelo es el que posee una tasa de descomposición compatible con la protección del suelo contra la erosión y con un suministro de nitrógeno sincronizado con la demanda de los cultivos comerciales de sucesión (Aita 1997).

Los biocidas y las sustancias químicas afectan a las poblaciones microbianas, al menos temporalmente. Los herbicidas y los insecticidas para las hojas no suelen aplicarse en concentraciones demasiado elevadas para evitar destruir los microorganismos del suelo. Existe una excepción, un grupo de bacterias llamadas nitrificantes, que no suelen ser susceptibles a los productos químicos. Después de la fumigación o la aplicación de fungicida, la respiración del suelo tratado desciende

inicialmente. Sin embargo, al final se respira más CO₂ en suelos fumigados que en suelos no fumigados, debido a que los hongos representan el porcentaje más elevado de la biomasa del suelo. Al destruirlos, se libera una considerable cantidad de materia orgánica que consumen los organismos supervivientes (Coyne 2000).

Según el mismo autor, la tala de los bosques afecta también a las poblaciones microbianas y a sus actividades. Cuando se tala un bosque, las raíces mueren y se acelera su descomposición, también las hojas y las ramas sobre la superficie del suelo sirven de alimento a los microbios. En consecuencia, aumenta la respiración del suelo, a la vez que puede liberarse nutrientes como el nitrógeno, los cuales se encuentran en la materia orgánica.

2.3 Carbono orgánico del suelo

El carbono mineral en la forma de gas carbónico es fijado a través de la fotosíntesis por las plantas verdes en la forma de carbohidratos, lignina, proteínas, lípidos y otros compuestos orgánicos. Con la senescencia y la muerte de los órganos vegetales aéreos, principalmente follaje, ramas, y la producción de raíces, el carbono orgánico es colocado en contacto con el suelo. Esos residuos vegetales, así como los de origen animal, no se acumulan indefinidamente en el suelo; con el tiempo, todos se descomponen en gas carbónico y agua (Cardoso et al 1992).

Según el mismo autor, los principales responsables por esa descomposición son los microorganismos del suelo, cuya masa o biomasa microbiana está permanentemente en renovación. En áreas geológicamente estables, con superficies cubiertas por largo tiempo con un mismo tipo de vegetación, el suelo presenta una condición de equilibrio dinámico donde las pérdidas anuales de materia orgánica son balanceadas por las entradas anuales. Ese proceso es descrito como reciclado y para el carbono es definido como un flujo a través del contenido total de carbono de una dada muestra de suelo.

El carbono orgánico en los suelos presenta un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa se acumula en la fracción húmica estable (FAO 2002). Silva et al (2004), indican que cerca de 10 a 15 % de la reserva total del carbono del suelo es constituida por macromoléculas (proteínas y aminoácidos, carbohidratos simples, complejos, resinas, leignina y otros), y el 85 a 90 % por las sustancias húmicas.

Coyne (2000), menciona que la mayor parte del carbono orgánico del suelo procede de la planta y es incorporado al suelo por dos vías principales. La primera es la vía epigea y se refiere a los aportes originarios de los restos vegetales y animales en la superficie del suelo y la segunda es la vía endógena, donde los aportes son debido a la descomposición de las raíces presentes en el suelo.

El Carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo (Aguilera 2000). Los suelos sin arar tienden a tener más carbono que los suelos arados convencionalmente (Coyne 2000).

Según el mismo autor, cuanto mayor es el contenido de agua en el suelo, más baja tiende a ser su temperatura, y cuanto más baja es esta temperatura, menor es la actividad metabólica de los microorganismos contenidos en ella. Si la actividad microbiana es baja, también lo es la pérdida general del carbono del suelo durante la respiración. La evolución total del CO₂, en suelos sin arar es más elevada que la de los suelos arados convencionalmente, simplemente porque hay una mayor cantidad de carbono disponible para su descomposición.

La tasa de liberación de CO₂ aumenta cuando el suelo está expuesto a un ciclo de sequía y humedad; tales ciclos estimulan apreciablemente la actividad de los organismos comparada con la de los suelos que son humedecidos constantemente (Alexander 1980).

La actividad heterotrófica en el suelo no sólo está limitada por el suministro de nitrógeno, fósforo, y otros nutrientes inorgánicos, sino también por la insuficiencia de nutrientes orgánicos fácilmente utilizables. Esto se demuestra experimentalmente de una manera sencilla, agregando a una muestra de suelo un compuesto orgánico simple y a otras, combinaciones de nutrientes inorgánicos. La liberación del CO₂ aumenta por la adición de la fuente de carbono. De cualquier manera, las respuestas de la comunidad al nitrógeno y fósforo empiezan a ser evidentes cuando se provee de suficiente materia carbonada, fácilmente degradable, para satisfacer la demanda microbiana (Alexander 1980).

Según el mismo autor, la mayor tasa de liberación del CO₂ se presenta cerca de la superficie del perfil, donde se encuentra la más alta concentración de restos vegetales. La tasa de liberación de CO₂ disminuye a grandes profundidades, volatilizándose muy poco a profundidades de 50 cm o más. Esta disminución en la actividad es paralela a la disminución del nivel del carbono orgánico.

Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera. El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica. La cantidad total de C orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada por diversos métodos y su valor es cercano a 1.500 Pg a 1 m de profundidad. Estimaciones de C inorgánico dan valores de alrededor de 1.700 Pg C, principalmente en formas estables como CaCO₃ y MgCO₃ • CaCO₃, CO₂, HCO₃ y CO₃= (FAO 2001, y Swift 2001). Los suelos que acumulan la mayor cantidad de carbono orgánico corresponden al orden Histosol (**Cuadro 1**). Aun cuando el orden Histosol es el que tiene la menor superficie con respecto a otros órdenes, es el que tiene la mayor relación cantidad COS/ superficie.

Tabla 1. Carbono orgánico en los suelos del mundo

ORDEN	Área (10 ³ km ²)	COS (Pg) ²	COS/Área (Pg 10 ³ km ²)
Histosoles	1.745	357	0,205
Andisoles	2.552	78	0,031
Inceptisoles	21.580	352	0,016
Spodosoles	4.878	71	0,015
Mollisoles	5.480	72	0,013
Oxisoles	11.772	119	0,010
Entisoles	14.921	148	0,010
Ultisoles	11.330	105	0,009
Alfisoles	18.283	127	0,007
Vertisoles	3.287	19	0,006
Aridisoles	31.743	110	0,003
Misceláneos	7.644	18	0,002
Total	135.215	1.576	0,012

Fuente: Eswaran, et al.1993.

2.4 Sistema de siembra directa

Las plantaciones sin arado son una práctica de administración del suelo utilizada para controlar la erosión. Como su nombre indica el cultivo se realiza con la mínima perturbación de la tierra. En consecuencia, la actividad microbiana y sus poblaciones se estratifican cerca de la superficie en los sistemas sin arado (Coyne 2000).

Según el mismo autor, las poblaciones microbianas y la actividad en suelos sin arar son superiores que en suelos arados de forma convencional. Esto puede deberse a que los suelos sin arar suelen ser más húmedos que los de arado convencional y disponen de más carbono orgánico. Sin embargo, a medida que se avanza en el perfil del suelo, la situación se invierte. Los microorganismos que no requieren de carbono orgánico para su crecimiento reciben una menor influencia de la práctica del arado.

Existen varios nombres para el tipo de agricultura que produce sin remoción del suelo y mantiene la superficie del mismo cubierto con masa vegetal durante todo el año. Estos nombres incluyen: Plantío Directo, Siembra Directa, Labranza Cero, Sembrar sin Cultivar, Siembra Directa en la Paja, etc. Todos estos nombres tratan de explicar, en pocas palabras, el concepto de este tipo de agricultura conservacionista, pero, al final, son los conceptos lo importante y no el nombre que se le da a esta práctica agronómica. Las dos características fundamentales de esta agricultura son precisamente: a) la siembra en suelo sin labrar con la mínima remoción posible, b) mantenimiento de la superficie cubierta con residuos vegetales (MAG/DGP 1995).

El sistema de siembra directa se inició en el Paraguay en 1990, a nivel de medianas y grandes fincas mecanizadas; y para 1997, el mismo representaba el 51% del área cultivada en el país (Sorrenson et al. 2001).

En el sistema de siembra directa no ocurre la inversión de las capas de suelo, que sumado al encalado, fertilizaciones y deposiciones de residuos vegetales, crean condiciones favorables al desarrollo y la actividad de la comunidad microbiana del suelo, la cual es generalmente mayor en suelos sobre siembra directa que en aquellos sometidos a la preparación y cultivo convencional (Colozzi & Balota 1997).

Es un método de siembra conservacionista en el cual la semilla es depositada directamente en el suelo no preparado mecánicamente, donde los residuos del cultivo anterior permanecen en la superficie y las malezas son controladas mediante el uso de herbicida o abono verde (MAG/GTZ 2000).

La inversión en equipos de siembra directa, es mucho más bajo que en el de la siembra convencional. Además, disminuyen los mayores requerimientos de mano de obra. Finalmente, los mayores rendimientos hacen que el sistema sea más económico y rentable y por ello generalmente es bien aceptado por los productores (MAG/GTZ 2000).

Este sistema, según Lorenzatti (2000), permite a través de la cobertura aportada por los rastrojos y por la mejora del ambiente edáfico una mayor disponibilidad de agua útil para los cultivos. Esa mayor eficiencia en el uso del agua que la siembra directa realiza no sólo permite minimizar rendimiento, sino que también permite tener un “piso de producción” más alto, o dicho de otra manera aumenta la estabilidad de la producción.

Dado que no se utilizan implementos que destruyen los “nidos” y canales que construyen los microorganismos, se registra una mayor actividad biológica bajo el sistema de siembra directa. Además, los microorganismos no mueren de hambre bajo este sistema (como en el caso de los suelos descubiertos de la agricultura convencional), porque siempre se encuentran sustancias orgánicas en la superficie que proveen los alimentos necesarios. Finalmente, las condiciones más favorables de humedad y temperatura también tienen un efecto positivo en la vida de los microorganismos del suelo. Por ello, en el sistema de siembra directa se registran más lombrices, más artrópodos (acarina, colémbolas, insectos), más microorganismos (rizobios, bacterias y actinomicetos), así como también hongos y micorrizas (Kemper y Derpsch 1981; Voss y Sidras 1985).

2.5 Sistema convencional

La labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con las rastras de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de herbicidas. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión (FAO 1979).

Según el mismo autor, el principio de la labranza convencional se basa en la inversión del suelo con el objetivo de controlar las malezas, seguido por varias operaciones para la preparación de la cama de siembra.

La labranza primaria es la labranza convencional que se extiende a toda la capa arable o sea al horizonte A. Esta sirve para eliminar compactaciones superficiales, abrir el suelo y crear una estructura grumosa para acumular agua y muchas veces también incorporar, a través de la arada, plagas, malezas y semillas de malezas (Lal 1995).

La profundidad de la labranza primaria depende de la fuerza de tracción disponible. Con tracción animal es normalmente entre 10 y 20 cm; con el tractor, especialmente con el aumento de potencia de los tractores modernos, se llega en algunos países hasta 40 cm (Lal 1995)

Según el mismo autor, la labranza secundaria sirve para preparar el suelo para la siembra. Esto incluye la formación de la superficie, la nivelación, la formación de camellones o surcos para irrigación y para establecer la cama de siembra. La cama de semilla debería extenderse solamente sobre un horizonte muy delgado hasta la profundidad prevista de la siembra. Normalmente la labranza secundaria nivela y pulveriza el suelo y una profundización de la misma solamente llevaría a una pérdida innecesaria de humedad. Cuando el suelo está todavía suelto hay que incluir también una recompactación en la labranza secundaria.

2.6 Área boscosa

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad, los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos – que contienen cerca del 40% del total del carbono – son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Por lo

general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación – o la reforestación- , ese equilibrio es afectado. Actualmente, se estima que cada año son deforestadas entre 15 y 17 millones de hectáreas, sobre todo en los trópicos y que muy a menudo parte del CO₂ se pierde dando lugar a una considerable emisión de CO₂ (FAO 2001).

2.7 Área de pastura

Las áreas de pastoreo, así como los bosques, juegan un papel muy importante en el secuestro de carbono. En primer lugar, las tierras de pastoreo, ocupan 3.200 millones de hectáreas y almacenan 200 – 420 Pg C en el ecosistema total, una parte del mismo debajo de la superficie y, por lo tanto, en un estado relativamente estable. El carbono del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en 70 t/ha, cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales (Martínez 2008).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El estudio se realizó en el predio de la Empresa AGROPECO S.A., Departamento de Alto Paraná, en el Distrito correspondiente a Ñacunday. Este se halla ubicado aproximadamente a 394 km de la capital del país (Anexo 1)



Figura 1. Ubicación de sitios de muestreo para su estudio. Mapa del Departamento de Alto Paraná, Distrito de Ñacunday, Paraguay.

La temperatura media anual es de 21° C y una mínima en el invierno llega a 0°C. Por otro lado, la precipitación media anual varía entre 1600 mm hasta 1700 mm aproximadamente.

El Departamento de Alto Paraná se caracteriza por presentar tierras altas (300 msnm).

El tipo de suelo de la zona es del Orden Ultisol que se caracteriza por una variedad de materiales rocosos, tales como areniscas, basaltos granito y sedimento de estas rocas. Presentan también diferentes paisajes, como llanuras, lomadas y serranías, y con cobertura vegetal de bosques, sabanas y praderas (López et al., 1995).

3.2 Población de unidades y variables de medición

Los tratamientos evaluados fueron sistema de siembra directa, sistema de siembra convencional, área de pastura, y el área boscosa que fue considerado como testigo.

Tabla 2. Tratamientos evaluados con sus respectivas profundidades

Tratamientos	Profundidad (cm).
Bosque	0-5
Bosque	5-15
Bosque	15-25
Campo Natural	0-5
Campo Natural	5-15
Campo Natural	15-25
Siembra Directa	0-5
Siembra Directa	5-15
Siembra Directa	15-25
Siembra Convencional	0-5
Siembra Convencional	5-15
Siembra Convencional	15-25

Agropeco posee su establecimiento desde el año 1995, el cual comenzó con un contratista en conjunto para la siembra de soja con 500 hectáreas y con 300 hectáreas de trigo, se realizó desmonte de la propiedad en los años 1978, 1979 a 1980 según datos de los dueños anteriores.

En el año 1997 se extendió en la propiedad el manejo silvopastoril, con aproximadamente 3.000 cabezas de ganado que se destinaba para el engorde con aceven, avena negra; en el invierno se colocaba el ganado en el monte bajo sistema silvopastoril para el engorde. El procedimiento que se realizaba era la extracción del cultivo de soja y se sembraba en su lugar aceven y posterior a eso, se dejaba al ganado en el sitio. Tanto la avena negra como el aceven se realizaban bajo siembra convencional con unas 500 a 800 hectáreas, esto se sigue realizando desde hace más de doce años, pero el ganado vacuno ya no existe.

Se sembró 2500 a 3000 hectáreas de soja RR (Resistente a glifosato) con el sistema de siembra convencional en un 50% y en sistema de siembra directa 50%. Y desde ahí en adelante se incrementó la siembra directa a 5500 hectáreas (soja, maíz, trigo, sorgo) y como cobertura utilizada la avena y nabo forrajero.

Hasta el año 1999 se realizó ganadería luego se abandonó; todo el terreno era de bosque (monte), según los dueños anteriores del establecimiento.

Cada 5 años se realiza descompactación de suelo con un descompactador paraflow a 30 a 40 cm para remoción de suelo (subsolador de 8 dientes). Por año se realiza 300 hectáreas.

Las muestras obtenidas fueron acondicionadas en bolsas plásticas, protegidas de la luz y mantenidas en cajas térmicas, y fueron transportadas en un lapso de 48 horas después de la colecta, para el laboratorio de Servicio al Público del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción para su análisis (Anexo 2)

En el laboratorio las muestras fueron tamizadas con un tamiz de malla de 2 mm, para retirar restos de cultivos, piedras, raíces, etc. Se determinó la humedad por el método gravimétrico; la biomasa microbiana, y la tasa de respiración, según Paúl y Clark (1996).

Las variables evaluadas fueron carbono orgánico, biomasa microbiana, respiración microbiana.

3.3 Diseño para la recolección de datos primarios

El estudio no es de carácter experimental. Para la medición de las diferentes variables fueron demarcadas parcelas de 10.000 m² (una hectárea) en los cuatro sistemas de manejo en estudio. Estos sistemas de manejo están en las mismas condiciones de suelo y de topografía. Para la evaluación de las variables fueron obtenidas muestras de suelo en cinco puntos en cada parcela y en tres profundidades.

3.3.1 Descripción del proceso de recolección de datos primarios

3.3.1.1 Muestreo y procesamiento de muestras de suelo

En cada una de las parcelas representativas de los diferentes tratamientos se distribuyeron proporcionalmente los cinco puntos de muestreo. De cada uno de ellos se extrajo con pala muestras a tres profundidades (0-5, 5-15 y 15-25 cm) que fueron homogeneizadas para finalmente obtener una muestra compuesta por profundidad. Las muestras fueron colectadas durante los meses de octubre y noviembre del 2012 (Anexo 3).

El muestreo para densidad consistió en la extracción de las muestras de suelos en cilindros volumétricos de aluminio inoxidable, que fueron retirados con cuidado, realizándose este procedimiento para cada sistema de manejo a los 0-5 cm de profundidad, posteriormente las muestras obtenidas fueron acondicionadas y mantenidas en cajas térmicas, para su posterior transporte al laboratorio de Servicio al Público del Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción para su análisis. Los cilindros con las muestras fueron colocados en la estufa, retirándose los mismos a las 72 hs o una vez alcanzado peso constante de las muestras (Anexo 4).

Se utilizó la densidad del suelo de la profundidad de 0 a 0,05 m para determinar la concentración del carbono y por consiguiente, la reserva de carbono del suelo como también de la biomasa microbiana en kg/ha.

La fórmula es la siguiente:

Reserva de Carbono en el suelo:

$$\text{Carbono en el suelo (kg)} = \text{masa del suelo (kg)} \times \text{C (g kg}^{-1}\text{)}/1000$$

- densidad del suelo (g cm^{-3}) = densidad del suelo \times 1000 (kg m^{-3})
- volumen del suelo (m^3) = 100 \times 100 \times profundidad
- masa del suelo (kg) = volumen (m^3) \times densidad

3.4 Evaluaciones en laboratorio

3.4.1 Respiración de la biomasa microbiana

Para determinar la respiración de la biomasa microbiana se evaluó el CO_2 liberado por el suelo solo (respiración endógena) y/o con el agregado de sustancias cuya degradación y efecto sobre la microflora se desea estudiar (hidratos de carbono, abonos verdes, pajas, fertilizantes, pesticidas), por técnicas de absorción en el infrarrojo, cromatografía gaseosa, conductividad eléctrica, gravimetría o volumetría (luego de absorberlo en solución alcalina) (Frioni, 1999) (Anexo 7).

La metodología que se utilizó fue la volumétrica, luego de absorberlo en solución alcalina. Son técnicas comparativas empleadas para obtener resultados sobre la potencialidad biológica en ambientes cerrados. En este caso se armoniza esta actividad con el contenido de materia orgánica, humedad y prácticas de manejo (Anexo 5,6).

La absorción del oxígeno se mide por electrodos específicos o en

modificaciones del aparato de Warburg, con recipientes internos que permiten muestras de suelos de 10-20 g, los cambios de presión se miden a volumen constante, el CO₂ se recoge en solución alcalina (Frioni, 1999).

La actividad del lugar se determina evaluando volúmenes conocidos de la atmósfera sobre una superficie determinada de terreno (m²).

3.4.2 Biomasa microbiana

3.4.2.1 Carbono de la biomasa por el método de fumigación-extracción

El carbono de la biomasa microbiana fue determinado por el método de fumigación - extracción que consistió en la utilización de cloroformo (biocida efectivo) que actúa sobre los lípidos de las membranas, lisando a las células pero no solubiliza a la materia orgánica del suelo ni la hace más biodegradable. Los contenidos de las células lisadas fueron extraídos con solución salina de sulfato de potasio (Vance et al., 1987) (Anexo 8, 9, 10,11, 12).

3.4.3 Carbono orgánico total

El carbono orgánico total fue determinado por el método de Walkley – Black que consistió en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos, titulando luego el exceso del agente oxidante con sulfato amónico ferroso (Nelson y Sommers, 1982).

3.5 Diseño experimental

En este trabajo no se utilizó un diseño experimental propiamente dicho porque simplemente no se instalaron parcelas experimentales. Para comprobar la hipótesis se realizó análisis de la prueba T (Anexo 12).

3.6 Análisis de datos

A pesar de no existir un diseño experimental, los datos fueron sometidos a prueba de T según un diseño completamente al azar, para verificar diferencias entre los sistemas de manejo en cada profundidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Carbono orgánico del suelo en cuatro sistemas de manejo

En la Tabla 3 se presenta la concentración de carbono orgánico del suelo por profundidad y el promedio, en cuatro sistemas de manejo.

Tabla 3. Carbono orgánico del suelo

Tratamiento	Concentración carbono orgánico del suelo (g kg^{-1})			
	Profundidad (m)			Promedio 0 - 0,25
	0 - 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,25	
Bosque	36,3 a	23,3 a	18,6 a	26,0
Campo Natural	19,8 b	16,9 b	14,2 ab	17,0
Siembra Directa	21,0 b	14,4 b	10,5 b	15,3
Siembra Convencional	20,4 b	16,3 b	15,0 ab	17,2

	Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha^{-1})			
	Profundidad (m)			Total 0 - 0,25
	0 - 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,25	
Bosque	15.436 a	19.778 ab	15.773 ab	50.987
Campo Natural	13.261 b	22.640 a	19.070 a	54.971
Siembra Directa	12.827 b	17.550 b	12.839 b	43.216
Siembra Convencional	13.394 ab	21.375 ab	19.604 a	54.373

En la Tabla 3 se observa que hasta los 15 cm existe diferencia significativa entre la concentración del carbono orgánico del suelo (g. kg^{-1}) de bosque con respecto a los demás sistemas de manejo. Según FAO (2001), los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos – que contienen cerca del 40% del total del carbono – son de importancia primaria cuando se considera el manejo de los bosques. Se observa también una disminución de la concentración de carbono orgánico a medida que aumenta la profundidad de muestreo en todos los sistemas de manejo.

No se observan diferencias significativas entre los demás sistemas de manejo (campo natural, siembra directa y siembra convencional), sin embargo, en los primeros 5 cm de profundidad, la tendencia es de mayor concentración de carbono orgánico en el sistema de siembra directa y que a partir de los 5 cm, la mayor concentración se dé en el campo natural. Al respecto, Coyne (2000), menciona que la mayor parte del carbono orgánico del suelo procede de la planta y es incorporado al suelo por dos vías principales. La primera es la vía epígea, donde los aportes son originarios de los restos vegetales y animales en la superficie del suelo y la segunda es la vía endógena, donde los aportes son debido a la descomposición de las raíces presentes en el suelo.

Al analizar el promedio de carbono orgánico de 0 a 25cm, se observa nuevamente el mayor valor en el suelo de bosque seguido por el suelo de pastura natural. Según Cardozo et al (1992), en áreas geológicamente estables, con superficies cubiertas por largo tiempo con un mismo tipo de vegetación, el suelo presenta una condición de equilibrio dinámico donde las pérdidas anuales de materia orgánica son balanceadas por las entradas anuales. Ese proceso es descrito como reciclado. Martínez (2008) afirma que las áreas de pastoreo, así como los bosques, juegan un papel muy importante en el secuestro de carbono. El carbono del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en 70 t/ha, cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales.

Hasta los 15 cm no se observan diferencias significativas entre los sistemas de siembra directa y sistema convencional. Al igual que en el presente trabajo, Pfuller et al. (2000), al comparar el sistema convencional con el sistema de siembra directa, tampoco encontraron diferencia significativa entre ambos sistemas. A partir de los 15 cm hasta los 25 cm se observa diferencia significativa entre estos valores, siendo mayor en el sistema convencional. Esto podría deberse a que según FAO (1979), la labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos con el propósito de controlar las malezas por medio de su enterramiento, lo que podría dar un aporte extra de materia orgánica en esa zona por lo menos temporalmente.

4.2 Biomasa microbiana en cuatro sistemas de manejo

En la Tabla 4 se presenta la cantidad de carbono (mg C kg^{-1}) en la biomasa microbiana del suelo en los cuatro sistemas de manejo, por profundidad y el promedio.

Tabla 4. Biomasa microbiana del suelo

Tratamiento	Cantidad de C en biomasa microbiana del suelo (mg C kg^{-1})			
	Profundidad (m)			Promedio
	0 - 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,25	0 - 0,25
Bosque	267,9 a	194,6 ab	196,9 ab	222,8
Campo Natural	163,7 c	178,5 b	177,4 b	173,2
Siembra Directa	214,9 b	217,4 a	217,4 a	217,0
Siembra Convencional	177,4 c	137,4 c	108,7 c	141,2

	Cantidad de C en biomasa microbiana del suelo (kg ha^{-1})			
	Profundidad (m)			Total
	0 - 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,25	0 - 0,25
Bosque	114ns	165 b	167 b	446
Campo Natural	110	239 a	238 a	587
Siembra Directa	131	265 a	265 a	661
Siembra Convencional	116	180 b	142 b	438

En la Tabla 4 se observa que hubo diferencia significativa en cuanto a la cantidad de C orgánico en la Biomasa microbiana del suelo en los sistemas de manejo estudiados, como así también entre las diferentes profundidades. En la profundidad de 0 a 0,05 m, el sistema de Bosque, con $267,9 \text{ mg C kg}^{-1}$, fue el de mayor valor presentando diferencia significativa con respecto a los demás sistemas. Coyne (2000), afirma que el tratamiento que se le da al suelo afecta la distribución y las clases de poblaciones microbianas, mientras que Breure (2004), pone de relieve la importancia de la actividad biológica y la biodiversidad en la capacidad funcional de los suelos, afirmando además que la actividad biológica está principalmente concentrada en la capa superficial del suelo y que los componentes biológicos de la misma por lo general ocupan una fracción mínima (el 0,5% en volumen) del suelo y un 10% de la fracción orgánica y Cerri et al (1992), sostienen que el 2 a 3% del carbono presente en el suelo está constituido por la biomasa microbiana; y existe una relación directa entre el nivel de actividad microbiana y la fertilidad del suelo, tanto en ambientes naturales como en aquellos manejados por el hombre.

En cuanto al sistema de Siembra Directa (214,9 mg C kg⁻¹), también presento diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre el sistema de Campo Natural (163,7 mg C kg⁻¹) y el sistema de Siembra Convencional (177,4 mg C kg⁻¹).

A partir de las profundidades de 0,05 a 0,25 m ya no se observan diferencias significativas entre los sistemas de manejo de Bosque, campo natural y siembra directa, cuando comparados entre sí, sin embargo, hay diferencia significativa entre todos los mencionados y el sistema convencional. Según Reicosky (1996), la cantidad y calidad del carbono agregado como rastrojo y el tipo e intensidad de labranza empleada afectan el contenido de carbono en el suelo; lo que evidenciaría la compleja interacción entre procesos determinados por los ingresos de carbono y las tasas de descomposición microbiana de los rastrojos. Se observa además que tanto en el sistema de bosque como en el sistema convencional el contenido de C en biomasa microbiana disminuyó con la profundidad, mientras que en los sistemas de campo natural y siembra directa estos valores tuvieron un pequeño incremento. Aunque Breure (2004), afirma que la actividad biológica y la biodiversidad en la capacidad funcional de los suelos, está concentrada principalmente en la capa superficial, esto no se observó en estos dos últimos sistemas citados y en el caso del sistema de campo natural principalmente, el aumento a profundidad podría deberse a los aportes por vía endógena, debido a la descomposición de las raíces presentes en el suelo (Coyne 2000).

Cuando hallado el promedio, se mantuvo la tendencia señalada para los sistemas de bosque, pastura natural y siembra directa, con los mayores valores y el menor valor para el Sistema Convencional.

Los valores hallados para una hectárea se observan también en la Tabla 4, calculados utilizando la densidad aparente en los sistemas respectivos.

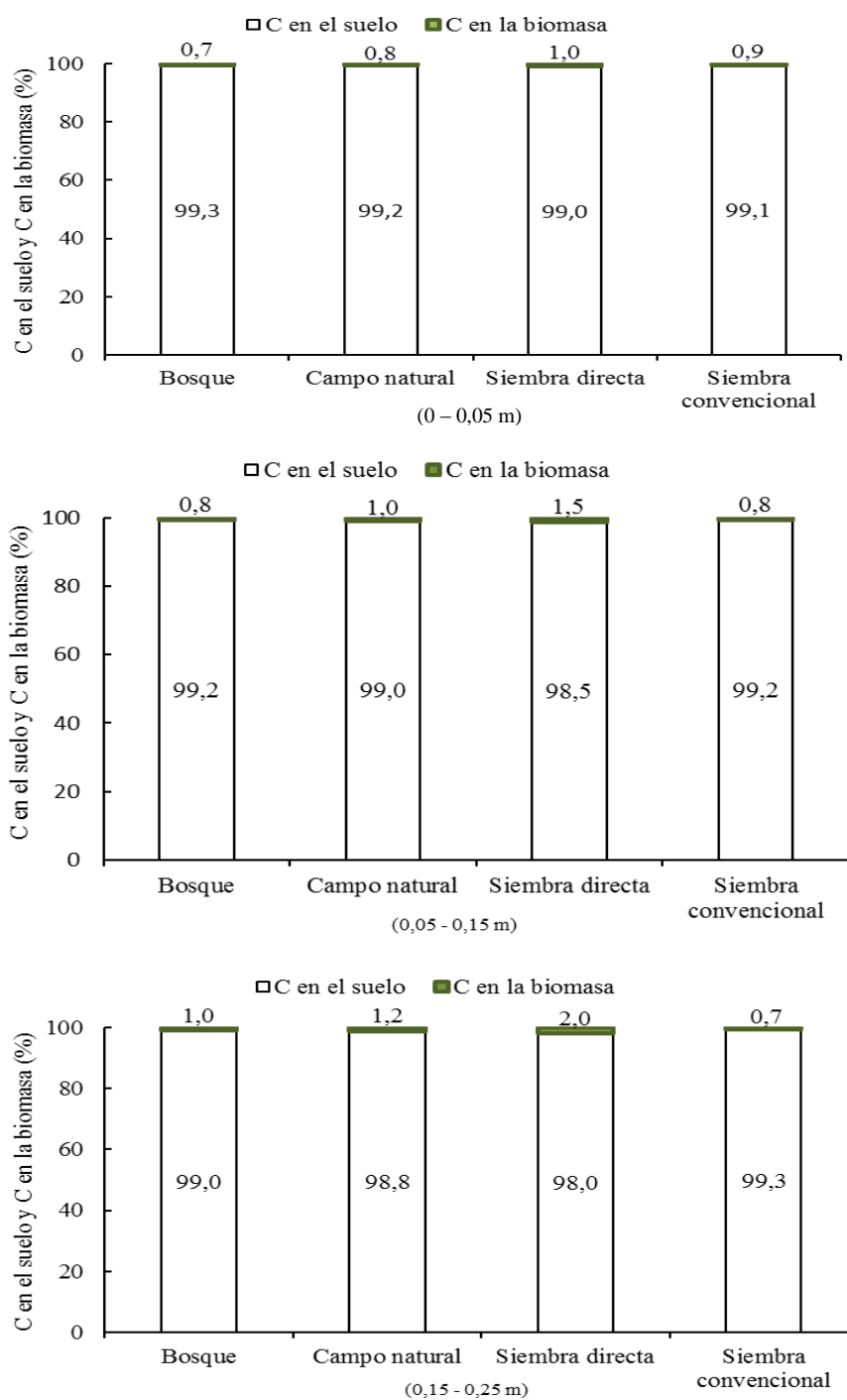


Figura 2. Relación entre el carbono orgánico del suelo y el carbono orgánico de la biomasa microbiana en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,15 y 0,15-0,25 m

En la Figura 2, se presenta la relación entre el carbono orgánico del suelo y el carbono orgánico de la biomasa microbiana en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,15 y 0,15-0,25 m, observándose un comportamiento similar tanto entre los sistemas

naturales (bosque y campo natural), como en aquellos antrópicos (siembra directa y siembra convencional).

En la profundidad de 0-0,05 m y considerando todos los sistemas estudiados se observan porcentajes bastante similares en cuanto a carbono orgánico del suelo comprendidos entre 99,0 y 99,3%. En cuanto al carbono en la biomasa microbiana, se observan valores muy inferiores a los encontrados para carbono orgánico del suelo, correspondiendo los menores registros a los sistemas naturales (bosque 0,7% y campo natural 0,8%), mientras que en los sistemas antropicos se observaron valores levemente más altos (siembra directa 1,0 % y siembra convencional 0,9%).

Esto podría deberse a que el carbono de la biomasa microbiana responde mucho más rápidamente que el carbono orgánico del suelo a los cambios en la calidad del mismo. Generalmente las variaciones en el carbono orgánico del suelo son más lentas de detectar debido a que éste incluye un alto porcentaje de fracciones estables, las cuales pueden enmascarar variaciones que tienen lugar en las fracciones menos recalcitrantes.

El mismo comportamiento es observado tanto a la profundidad de 0,05 m a 0,15m como en la de 0,15 a 0,25 m, en los diferentes sistemas de manejo estudiados. Según Kanninen (2003), el total del carbono presente en las praderas debería ser menor que en algunos ecosistemas forestales y el contenido de carbono de un suelo bajo pasturas mayor que bajo cultivos. Sin embargo, FAO (2002), aduce que la gran mayoría -70%- de las tierras de pastoreo están degradadas, siendo el sobrepastoreo una de las principales causas, especialmente en zonas subhúmedas, semiáridas o áridas donde predominan las pasturas; otra de las causas es el manejo con fuego, que se utiliza para controlar las especies leñosas, lo que involucra alguna pérdida de carbono hacia la atmósfera.

4.3 Evolución de la respiración microbiana en los cuatro sistemas de manejo

En la Figura 3 se presenta la evolución de la respiración microbiana (cinco lecturas realizadas) en los cuatro sistemas de manejo estudiados.

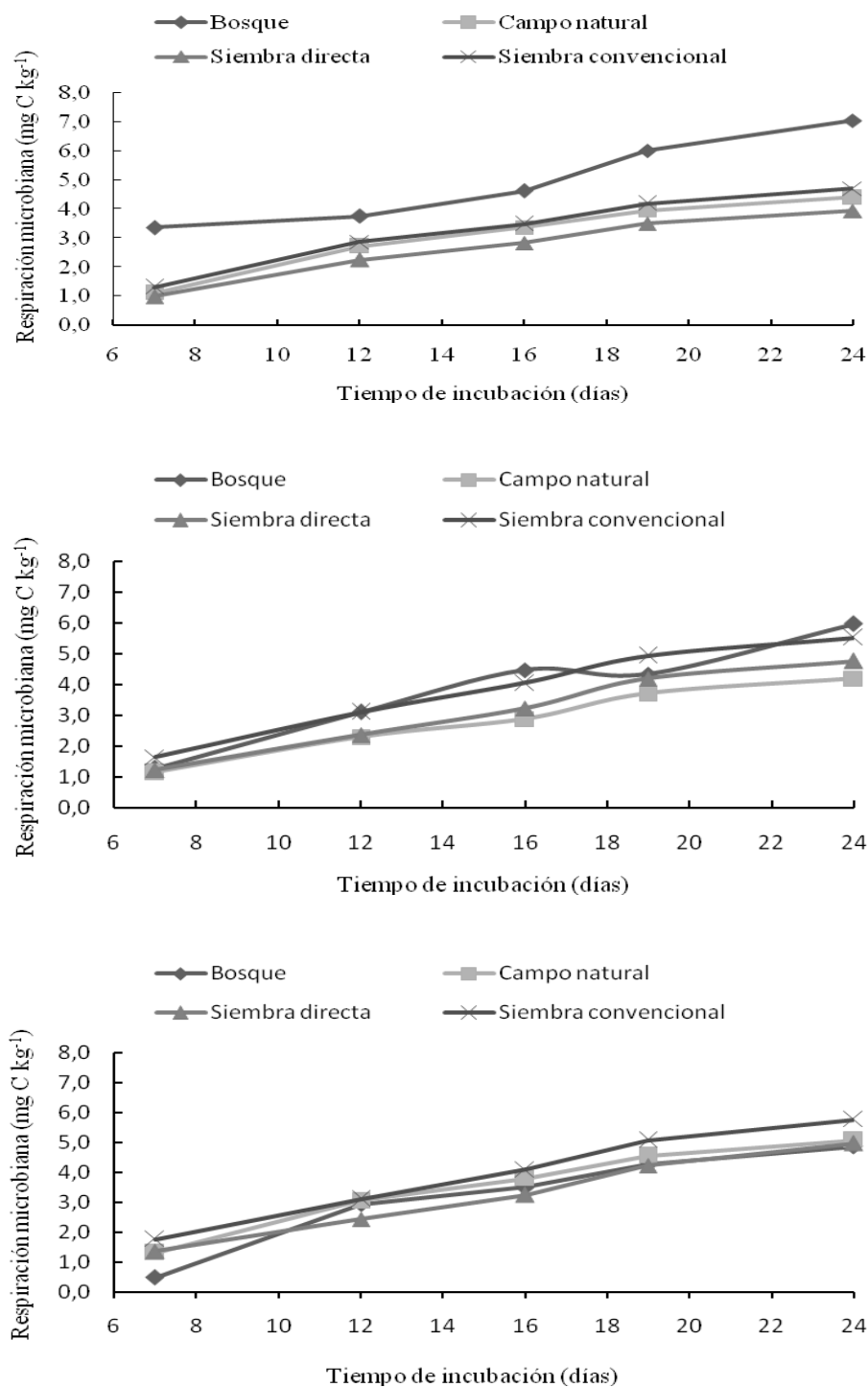


Figura 3. Evolución de la Respiración microbiana en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,15 y 0,15-0,25 m, en distintos tiempos de incubación.

Al analizar la evolución de la respiración microbiana se observa un aumento de la misma desde el inicio de la incubación hasta la última lectura en los cuatro sistemas de manejo, siendo el sistema de Bosque el que presentó una mayor respiración en relación a los demás sistemas de manejo en la profundidad de 0 a 0,05m, en todas las lecturas, aunque en la segunda y tercera lectura se observa una disminución en la tasa de evolución de la respiración, con respecto a las registradas en la cuarta y quinta lectura. Los sistemas de campo natural, siembra directa y siembra convencional presentaron una evolución de la respiración microbiana similar entre sí e inferiores a la del bosque.

En la profundidad de 0,05 a 0,15 m se observó una evolución de la respiración similar en los sistemas de bosque y siembra convencional hasta la tercera lectura, siendo estos, mayores que los observados en los sistemas de campo natural y siembra directa. Sin embargo, en la cuarta lectura se observa un descenso en el sistema de bosque en relación al sistema de siembra directa, siendo en ese punto similares. Pese a la disminución observada en la cuarta lectura, en la quinta y última lectura, el sistema de bosque obtuvo mayor valor en cuanto a respiración en comparación a los demás sistemas.

Para la profundidad de 0,15 a 0,25 m, se observa una evolución de la respiración microbiana del sistema de siembra convencional bastante similar al del campo natural. Mientras que, los sistemas de siembra directa y bosque obtuvieron una evolución parecida entre sí, pero en menor rango que los de siembra convencional y campo natural. En el presente trabajo no se observaron marcadas diferencias entre los sistemas de manejo estudiados. Sin embargo, Kayser & Scholles (1996), afirman que las preparaciones conservacionistas de suelo con leguminosas presentan mayores actividades microbianas en la capa superficial, evaluadas por la liberación de CO₂ y la producción de nitrógeno mineral, ambas con 80% de correlación; sin embargo, Pfuller et al. (2000), al comparar el sistema convencional con el sistema de siembra directa, no encontraron diferencia significativa entre ambos sistemas.

Martínez (2008), sostiene que la actividad respiratoria, medida por la producción de CO₂ es un indicador de la actividad de los organismos aerobios del suelo, que puede variar con la calidad del material orgánico aportado al suelo y también es bastante sensible a las alteraciones producidas por los sistemas de labranza y rotaciones de cultivo (Martínez 2008).

Balota et al. (1998), obtuvieron un valor medio total de incremento de la respiración basal de 73% mayor en siembra directa comparado con manejo convencional, diferente al comportamiento observado en el presente trabajo.

4.4 Respiración microbiana en cuatro sistemas de manejo

En la Tabla 5 se presenta la respiración microbiana del suelo (mg C kg⁻¹), a diferentes profundidades, en cuatro sistemas de manejo.

Tabla 5. Respiración microbiana del suelo

Tratamiento	Respiración microbiana del suelo (mg C kg ⁻¹)			
	Profundidad (m)			Total 0 - 0,25
	0 - 0,05	0,05 - 0,15	0,15 - 0,25	
Bosque	7,05 a	5,96 ab	4,87 ab	17,88
Campo Natural	4,40 b	4,19 b	5,08 ab	13,67
Siembra Directa	3,93 b	4,75 b	4,97 b	13,65
Siembra Convencional	4,71 b	5,52 a	5,76 a	15,99

En la Tabla 5 se observa que a una profundidad de 0 a 0,05m existe diferencia significativa en cuanto a respiración microbiana del suelo, entre el sistema de bosque y los demás sistemas estudiados, no así entre las diferentes profundidades de muestreo. Sin embargo, Breure (2004), afirma que la actividad biológica y la biodiversidad en la capacidad funcional de los suelos, está concentrada principalmente en la capa superficial del suelo. Esto se observó en los sistemas de bosque y campo natural y no así en los demás sistemas estudiados (siembra directa y convencional) que presentaron mayores valores a mayor profundidad.

A la profundidad de 0,05 a 0,15m existe diferencia significativa entre el sistema convencional y los sistemas de campo natural y siembra directa, no así entre el sistema convencional y el de bosque.

A la profundidad de 0,15 a 0,25m existe diferencia significativa entre el sistema convencional y el sistema de siembra directa, no así entre el sistema convencional y los sistemas de bosque y campo natural.

Ramos & Zuñiga (2008), afirman que la actividad respiratoria puede ser interpretada como un reflejo de la actividad metabólica de los microorganismos que residen en determinado hábitat, y que indican la dinámica de su biota ya que los procesos metabólicos que en él se desarrollen pueden variar en función a factores biofísicos, climáticos y de uso de la tierra.

Según Coyne (2000), las poblaciones microbianas y la actividad en suelos sin arar son superiores que en suelos arados de forma convencional. Esto debido a que los suelos sin arar suelen ser más húmedos que los de arado convencional y disponen de más carbono orgánico. Sin embargo, a medida que se avanza en el perfil del suelo, la situación puede invertirse debido a que los microorganismos que no requieren de carbono orgánico para su crecimiento reciben una menor influencia de la práctica del arado.

4.5 Correlación entre la biomasa microbiana y las propiedades químicas del suelo

En la Tabla 6 se presenta la correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS), en cuatro sistemas de manejo, a diferentes profundidades.

Tabla 6. Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Bosque, Campo Natural, Siembra Directa y Siembra Convencional.

Tratamientos	PQS	Correlación de la BM y PQS		
		Profundidad (m)		
		0 – 0,05	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25
Bosque,	pH	0,07	-0,26	-0,23
Campo Natural,	Ca ⁺²	0,55	0,03	-0,25
Siembra Directa,	Mg ⁺²	0,17	-0,35	-0,27
Siembra	K ⁺	-0,29	-0,43	-0,49
Convencional	P disponible	-0,40	-0,39	-0,39
	C	0,61	-0,14	-0,16

En la Tabla 6 se observa una alta correlación entre la biomasa microbiana del suelo y el carbono, en la camada de 0 a 0,25 m, mientras que la menor correlación se observó entre la biomasa microbiana y el P disponible.

En la Tabla 7 se presenta la correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS), en sistemas naturales (bosque y campo natural), a diferentes profundidades.

Tabla 7. Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Bosque y Campo Natural.

Tratamientos	PQS	Correlación de la BM y PQS		
		Profundidad (m)		
		0 – 0,05	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25
Bosque	pH	-0,12	-0,58	-0,36
	Ca ⁺²	0,59	-0,007	-0,35
Campo Natural	Mg ⁺²	0,64	0,35	-0,68
	K ⁺	-0,33	-0,36	0,15
	P disponible	-0,59	-0,53	0,35
	C	0,72	-0,18	-0,03

Considerando los sistemas naturales estudiados (bosque y campo natural) se observa que a una profundidad de 0 a 0,05m, el carbono fue el que presentó una correlación positiva con la biomasa microbiana. Esto podría deberse a que en los sistemas naturales, principalmente los bosques, la mayor parte del carbono orgánico del suelo procede de la planta y es incorporado al suelo por vía epigea, donde los aportes provienen de los restos vegetales y animales en la superficie del suelo (Coyne 2000).

En la Tabla 8 se presenta la correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS), en sistemas antropicos (siembra directa y siembra convencional), a diferentes profundidades.

Tabla 8. Correlación de la biomasa microbiana (BM) con algunas propiedades químicas del suelo (PQS) en Siembra Directa y Siembra Convencional

Tratamientos	PQS	Correlación de la BM y PQS		
		Profundidad (m)		
		0 – 0,05	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25
Siembra Directa	pH	0,81	0,20	-0,12
+	Ca ⁺²	0,23	0,22	< -0,01
Siembra	Mg ⁺²	-0,37	-0,81	0,22
Convencional	K ⁺	-0,001	-0,48	-0,66
	P disponible	-0,51	-0,46	-0,48
	C	-0,03	-0,31	-0,45

En cuanto a la biomasa microbiana y algunas propiedades químicas del suelo en sistemas antropicos, en la Tabla 8 se observa una alta correlación entre la biomasa microbiana y el pH del suelo, en las profundidades de 0 a 0,15m. Esto podría estar relacionado a la aplicación de cal agrícola para corregir las condiciones de acidez y toxicidad de aluminio, que normalmente se presentan en algunos suelos de la Región Oriental del Paraguay, lo que además mejora las condiciones para la biota del suelo. Según Plaster (2000), la mayoría de los organismos crecen mejor con un pH próximo a la neutralidad, debido a que los suelos ácidos suprimen el crecimiento, por lo que el encalado, es considerado una práctica útil.

5. CONCLUSIONES

El sistema de Bosque fue el que presento mayor concentración de carbono orgánico tanto en el suelo como en la biomasa microbiana hasta los 25 cm. con respecto a los demás sistemas de manejo estudiados. La menor concentración se observó en el campo natural.

La concentración de carbono orgánico del suelo fue disminuyendo a medida que aumento la profundidad de muestreo.

La evolución de la respiración microbiana fue gradual a lo largo de las cinco mediciones, en los cuatro sistemas de manejo, siendo mayor en el sistema de bosque hasta los 5 cm.

La respiración microbiana fue mayor en el sistema de bosque, hasta los 15 cm de profundidad. A los 5 cm de profundidad la menor tasa de respiración se registró en el sistema de siembra directa.

Existe una alta correlación entre la biomasa microbiana y el carbono orgánico del suelo en sistemas naturales y en los sistemas antrópicos la alta correlación se da entre la biomasa microbiana y el pH del suelo.

6. REFERENCIAS

AITA, C. 1997. Dinámica do nitrógeno no solo durante a decomposicao de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogenio para a cultura em sucessao. In: III Curso de AtualizacaoenRecomendacao de Adubacao e Calagem- Emfase em Plantio Direto (3, 1997, Santa María, RS) Palestras apresentadas. FRIES, M; DINIZ, R (Ed). Santa María, Brasil. UFSM. Palloti.

Alf K, Nannipieri P (1995) Cellulase activity, *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London

ALEXANDER, M. 1980. Introducción a la Microbiología del Suelo. D.F., México. 491 p.

ALTIERI, M AND C. I. NICHOLLS. 2002. Sistema agroecologico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. Universidad de California, Berkeley.

BAL, L.; 1993. Micromorphological Analysis of Soil Netherlands Soil Survey Paers.Nº 6 Neth Soils Survey Inst. Wageningen.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M.1998. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 22:641-649.

BARTZ, H. 1998. Dinámica dos nutrientes e adubacao em sistemas de producaosob plantio direto. In: IV Curso de Atualizacao em Recomendacao de Adubacao e Calagem (4, 1998, Santa María, RS) Plantio direto em solos Arenosos: Alternativas de Manejo para a sustentabilidade agropecuaria. Palestras apresentadas. FRIES, M (Ed) Santa María, Brasil. Palloti. 52-81p.

BEARE, M; WILSON, P; FRASER, P; BUTLER, R. 2002. Management effects on straw decomposition. *Soil Science.American Society*. (EE.UU) (66): 848-857.

BREURE, A.M. 2004. Soil Biodiversity: Measurements, indicators, threats and soil functions. I International Conference Soil and Compost Eco-biology, pp. 83-96.

BORIE F & R RUBIO (1999) Effects of arbuscular mycorrhizae and liming on growth and mineral acquisition on aluminum-tolerant and aluminum-sensitive barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 22: 121-137

CARDOSO, E.J.B.N; TSAI, S; NEVES, M. C. 1992. Microbiología do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas. São Paulo, Brasil. 360 p.

CERRI, C; ANDREUX, F; EDUARDO, B. 1992. O Ciclo do Carbono no Solo. In: CARDOSO, E; TSAL, S; NEVES, M. Microbiologia do Solo. Campinas, Brasil. SBCS. 73-90 p.

COLOZZI, A; BALOTA, E. 1997. Atividade microbiana em solos sob plantio direto. In: Curso sobre Siembra directa. (1997, Encarnación, Paraguay) Trabajos presentados. MAG-PROCISUR. 85-102 p.

COYNE, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid, ES, Paraninfo. 416 p.

DALURZO, H.C.; SERIAL, R. C.; VÁZQUEZ, S. Y RATTO, S. 2002. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina) SSA SpecialPublication N° 46. SSSA, Madison, WI.

DE POLLI, H; GUERRA, J. 1992. C, N e P NA biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G & CAMARGO, F. Fundamentos da MateriaOrgânica do solo. Porto Alegre, Brasil. Génesis. 163-169 p.

DORAN, J.W. y T.B. PARKIN. 1994. Defining and assessing soil quality 3-21p. In J.W. Doran et al (ed.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publ. 35 p. SSSA and ASA. Madison, W.

ESWARAN, HE; BERG, V; REICH, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. SoilSci. Soc. Am. J. 57, 192-194.

FAO. 1979. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 29 – 37 p.

FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2002. Soil carbon sequestration for improved land management. (enlínea). Roma, IT. Consultado 1 abr 2011. Disponible en: <http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96e.pdf>

FRIES, M. 1997. Microbiología e MateriaOrgânica: Recuperacao pelo sistema plantio direto. In: III Curso de AtualizacaoemRecomendacao de Adubacao e Calagem- Em fase em Plantio Direto (3, 1997, Santa María, RS) Palestras apresentadas. FRIES, M; DINIZ, R (Ed). Santa María, Brasil. UFSM. Palloti. 47-74p.

FRIONI, L. 1987. Ecología Microbiana del Suelo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. 519 p.

FRIONI, L. 1999. Procesos Microbianos. Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina, tomo II Garland, J. *Methodos of MicrobialCommunity Análisis*, 2004, Curso de post grado dictado en la Facultad de Agronomía de la UBA, Jornada de Biología, mayo, Buenos Aires.

KANNINEN, M. 2003. Sistemas silvo-pastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América latina. [en línea]. Consultado 12 abr. 2011, Disponible en: <http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia3/articulo4.htm>.

KAYSER, L; SCHOLLES, D. 1996. Biomassa e atividade microbiana em diferentes manejos do solo. In: I Reuniao Sul-Brasileira de Ciencia do Solo (1, 1996, Lages, SC) Manejo de solo em sistemas conservacionistas. Resumos Expandidos. Santa Maria, Brasil. SBCS-NRS. 4-6 p.

KEMPER, B., Derpsch, R., 1981: Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil and TillageResearch*, 1, 253 – 267.

LAL, R. 1995. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. *SoilsBulletin* 71. Roma, Italy

LORENZATTI, S. 2000. El cultivo de maíz en siembra directa (en línea). Consultado 20 de marzo 2011. Disponible en <http://www.Agrocommedión.com.ar/secciones/cultivos/maiz>.

MAG/DGP (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1995. Siembra Directa. Primer encuentro de productores, organizaciones y técnicos. Asunción, Paraguay.

MAG/GTZ (Ministerio de Agricultura y Ganadería / Agencia Alemana de Cooperación Técnica, Py). 2000. Proyecto de conservación de suelos. San Lorenzo, Py.

MARTINEZ, E., 2008. Carbono organico y propiedades del suelo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Santiago de Chile. 41 p.

NELSON, S.D., AND L.E. SOMMERS. 1982. Total carbon, organic carbon, and organicmatter. p. 539–579. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part2*. 2nd ed. Agron.Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

PARR, J. F., R.I. PAPENDICK, S.B. HORNICK, AND M.E. MEYER. 1992. Soil quality attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.* 7:5-11 p.

PAUL, E. A. & CLARK, F.E. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 2nd, Ed., Academic Press.

PFULLER, E; FRIES, M; ANTONIOLLI, Z; COSTA, B; GALEANO, MP. 2000. Avaliação de bacterias diazotróficas no solo, rizoplaneo e raiz de plantas sob sistema de plantio direto e convencional. Disponível em <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2000/932.pdf>. Consultado em maio de 2011.

PLASTER, E. J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Thomson. Madrid. Paraninfo S A. 419 p.

QUIROGA, A. 2003. Indicadores de calidad de suelos. Disponível [www //e-campo.com](http://www//e-campo.com). Consultado em marzo 2011

RAMOS , E.; ZUÑIGA, D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. In: *Ecología Aplicada* 7:123-130.

REICOSKY, D. 1996. La pérdida de dióxido de carbono en el suelo a causa de las labranzas. In: IV Congreso Nacional de Siembra Directa (4, 1996, Córdoba, Argentina) Conferencias- Disertaciones- Paneles de Discusión. Tomo II. AAPRESID. Córdoba, Argentina. Amalevi. 105 – 130 p.

SMITH, J.L. & PAUL, E.A. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In.: BOLLAG, J.M. & STOTSKY, G. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker. p.357-398

SILVA, M; BORGES, E; CARVALHO, E; DE MELO, B; PEREIRA, M; PEREIRA, L. 2004. Carbono orgánico total e variabilidad espacial em diferentes regioes de cafeiteiro e sistema de manejo empregado em solo de cerrado. Santa Mará, BR, UFSM.

SORRENSON, W; DUARTE, C; LÓPEZ, J. 2001. Aspectos económicos del sistema de siembra en pequeñas fincas. Proyecto “Conservación de suelos” GTZ-MAGDIA/DEAG. San Lorenzo, Paraguay. 84 p.

SWIFT, RS. 2001. Sequestration of carbon by soil. (en línea). *Soil Science*. Consultado 1 abr 2011. Disponível en: http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2001/11000/Sequestration_of_Carbon_By_Soil.10.aspx

USDA, NRCS.1999. Soil biology for the northengreat plains. *Resource Handbook*. Nebraska, EE.UU. 84p.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem*, 19:703-707.

VOSS, M., SIDRAS, N., 1985: Nodulación da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20, 775-782.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*, 37:29-38.

ANEXOS

ANEXO 1. Propiedad de la Empresa Agropeco S.A., localizada en el Departamento de Alto Paraná, Paraguay.



ANEXO 2. .Identificación de las muestras de suelos para el análisis en el laboratorio



ANEXO 3. Resultados de los análisis de laboratorio

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario: Katya Bogado
Departamento: Alto Paraná

Distrito: Naranjal

Fecha: 15/12/12

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P ppm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
							-----	-----	-----	-----	-----		-----	-----
12	217i	BOSQUE T1 R1	0-5	4,61	5,51	1,66	1,81	1,14	0,23	0,00	1,56	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	218i	BOSQUE T1 R1	5-15	4,45	3,41	3,33	1,01	0,88	0,21	0,00	1,88	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	219i	BOSQUE T1 R1	15-25	4,50	2,68	1,66	0,81	0,67	0,17	0,00	1,56	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	220i	BOSQUE T1 R2	0-5	4,40	6,38	3,33	1,41	1,09	0,33	0,00	1,88	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	221i	BOSQUE T1 R2	5-15	4,43	3,15	3,33	1,01	0,90	0,19	0,00	1,88	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	222i	BOSQUE T1 R2	15-25	4,41	2,48	3,33	0,81	0,64	0,17	0,00	1,88	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	223i	BOSQUE T1 R3	0-5	5,85	6,38	4,99	2,22	1,05	0,42	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	224i	BOSQUE T1 R3	5-15	6,04	3,45	3,33	1,71	0,95	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	225i	BOSQUE T1 R3	15-25	5,64	2,58	1,66	1,41	1,00	0,50	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	226i	BOSQUE T1 R4	0-5	6,74	6,47	6,66	3,83	1,05	0,33	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	227i	BOSQUE T1 R4	5-15	6,47	4,58	3,33	2,22	0,76	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	228i	BOSQUE T1 R4	15-25	6,27	4,21	3,33	2,02	0,95	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	229i	BOSQUE T1 R5	0-5	6,50	6,57	6,66	4,44	1,33	0,50	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	230i	BOSQUE T1 R5	5-15	6,52	5,48	3,33	1,81	0,90	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	231i	BOSQUE T1 R5	15-25	6,26	4,04	3,33	1,21	1,14	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺
Bajo	< 1,2	< 12	< 2.51	< 0.4	< 0.12	< 1.5	< 0.4
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0.12 - 0.3	1.5 - 3.0	0.4 - 0.9
Alto	> 2,8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0.3	> 3.0	> 0.9

pH

< 5.6	Acido
5.6 - 6.4	Lig. Acido
6.5 - 7.4	Neutro
> 7.4	Alcalino

Q.A. DORALICIA ZACARIAS SERVIN

Responsable de los análisis

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario: Katya Bogado
Departamento: Alto Paraná
Distrito: Naranjal
Fecha: 15/12/12

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P ppm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺ cmol _c /kg	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
													Munsell	Descripción
12	232i	CAMPO NAURAL T2R1	0-5	5,52	3,55	8,32	1,01	0,90	0,23	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	233i	CAMPO NAURAL T2R1	5-15	5,49	3,05	3,33	0,81	0,76	0,06	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	234i	CAMPO NAURAL T2R1	15-25	5,21	2,05	1,66	1,21	1,33	0,04	0,00	0,63	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	235i	CAMPO NAURAL T2R2	0-5	5,82	3,18	6,66	0,81	0,88	0,62	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	236i	CAMPO NAURAL T2R2	5-15	5,40	2,28	4,99	1,01	0,86	0,39	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	237i	CAMPO NAURAL T2R2	15-25	5,67	2,51	3,33	1,01	1,14	0,37	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	238i	CAMPO NAURAL T2R3	0-5	6,30	3,38	6,66	1,01	0,95	0,73	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	239i	CAMPO NAURAL T2R3	5-15	6,25	3,31	4,99	0,60	0,52	0,62	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	240i	CAMPO NAURAL T2R3	15-25	6,02	2,31	3,33	1,21	0,95	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	241i	CAMPO NAURAL T2R4	0-5	6,14	3,71	9,99	1,61	0,95	0,62	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	242i	CAMPO NAURAL T2R4	5-15	5,88	3,38	3,33	1,61	0,90	0,31	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	243i	CAMPO NAURAL T2R4	15-25	5,92	3,61	4,99	1,41	1,14	0,38	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	244i	CAMPO NAURAL T2R5	0-5	5,80	3,25	4,99	0,81	0,71	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	245i	CAMPO NAURAL T2R5	5-15	5,39	2,55	1,66	1,21	0,88	0,19	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	246i	CAMPO NAURAL T2R5	15-25	5,38	1,78	1,66	1,81	1,14	0,06	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH	
								< 5.6	Acido
Bajo	< 1,2	< 12	< 2.51	< 0.4	< 0.12	< 1.5	< 0.4	5.6 - 6.4	Lig. Acido
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0.12 - 0.3	1.5 - 3.0	0.4 - 0.9	6.5 - 7.4	Neutro
Alto	> 2,8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0.3	> 3.0	> 0.9	> 7.4	Alcalino

Q.A. DORALICIA ZACARIAS SERVIN

Responsable de los analisis

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario:
Departamento:

Katya Bogado
Alto Paraná

Distrito: Naranjal

Fecha: 15/12/12

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P ppm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
													Munsell	Descripción
12	247i	SIEMBRA DIRECTA T3 R1	0-5	5,85	3,45	21,64	1,81	1,14	0,33	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	248i	SIEMBRA DIRECTA T3 R1	5-15	5,74	2,38	6,66	2,82	1,14	0,12	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	249i	SIEMBRA DIRECTA T3 R1	15-25	6,15	1,68	6,66	1,81	1,33	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	250i	SIEMBRA DIRECTA T3 R2	0-5	6,50	3,45	11,65	1,81	1,14	0,60	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	251i	SIEMBRA DIRECTA T3 R2	5-15	6,38	2,78	4,99	1,71	0,90	0,33	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	252i	SIEMBRA DIRECTA T3 R2	15-25	5,88	2,71	3,33	1,41	1,09	0,17	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	253i	SIEMBRA DIRECTA T3 R3	0-5	6,60	3,28	16,65	1,51	1,00	0,58	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	254i	SIEMBRA DIRECTA T3 R3	5-15	5,95	3,08	3,33	1,61	0,88	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	255i	SIEMBRA DIRECTA T3 R3	15-25	5,92	1,55	1,66	2,02	1,36	0,38	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	256i	SIEMBRA DIRECTA T3 R4	0-5	6,26	3,78	9,99	1,81	1,14	0,60	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	257i	SIEMBRA DIRECTA T3 R4	5-15	6,00	2,45	3,33	2,22	1,09	0,58	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	258i	SIEMBRA DIRECTA T3 R4	15-25	5,62	1,45	1,66	2,02	1,38	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	259i	SIEMBRA DIRECTA T3 R5	0-5	5,82	4,18	8,32	1,61	0,90	0,80	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	260i	SIEMBRA DIRECTA T3 R5	5-15	5,11	1,71	1,66	1,61	0,90	0,29	0,00	0,63	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	261i	SIEMBRA DIRECTA T3 R5	15-25	4,78	1,68	1,66	1,81	1,36	0,19	0,00	1,25	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺
Bajo	< 1,2	< 12	< 2.51	< 0.4	< 0.12	< 1.5	< 0.4
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0.12 - 0.3	1.5 - 3.0	0.4 - 0.9
Alto	> 2,8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0.3	> 3.0	> 0.9

pH

< 5.6	Acido
5.6 - 6.4	Lig. Acido
6.5 - 7.4	Neutro
> 7.4	Alcalino

Q.A. DORALICIA ZACARIAS SERVIN

Responsable de los analisis

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Servicio al Público

Planilla de resultados de análisis de suelos

Propietario: Katya Bogado
Departamento: Alto Paraná
Distrito: Naranjal
Fecha: 15/12/12

Nº	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P ppm	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	Clase Textural	Color	
													Munsell	Descripción
12	262i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R1	0-5	6,41	3,31	16,65	1,81	1,36	0,71	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	263i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R1	5-15	6,51	2,18	8,32	1,81	1,33	0,39	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	264i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R1	15-25	6,49	2,05	4,99	1,81	1,14	0,81	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	265i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R2	0-5	5,81	3,85	28,30	1,61	1,14	0,79	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	266i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R2	5-15	5,81	2,85	28,30	1,61	1,14	0,81	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	267i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R2	15-25	6,09	1,68	6,66	2,02	1,38	0,81	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	268i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R3	0-5	5,33	3,11	14,98	1,61	1,24	0,58	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	269i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R3	5-15	5,41	2,61	4,99	1,61	1,33	0,50	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	270i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R3	15-25	5,26	2,01	3,33	1,21	1,05	0,48	0,00	0,63	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	271i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R4	0-5	5,35	2,71	11,65	1,21	1,43	0,69	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	272i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R4	5-15	5,14	2,48	6,66	1,21	1,24	0,50	0,00	0,63	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	273i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R4	15-25	5,02	3,78	3,33	1,61	1,14	0,25	0,00	0,94	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	274i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R5	0-5	5,33	4,64	18,31	1,81	1,28	0,79	0,00	0,31	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	275i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R5	5-15	5,52	3,94	9,99	2,42	1,47	0,60	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO
12	276i	SIEMBRA CONVENCIONAL T4 R5	15-25	5,86	3,38	11,65	2,42	1,47	0,60	0,00	0,00	ARCILLOSA	2,5 YR 2/4	MARRON ROJIZO MUY OSCURO

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH	
								< 5.6	Acido
Bajo	< 1,2	< 12	< 2.51	< 0.4	< 0.12	< 1.5	< 0.4	5.6 - 6.4	Lig. Acido
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2.51 - 6.0	0.4 - 0.8	0.12 - 0.3	1.5 - 3.0	0.4 - 0.9	6.5 - 7.4	Neutro
Alto	> 2,8	> 30	> 6.0	> 0.8	> 0.3	> 3.0	> 0.9	> 7.4	Alcalino

Q.A. DORALICIA ZACARIAS SERVIN

Responsable de los análisis

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

ANEXO 4. Muestreo de suelos en los diferentes sistemas de manejo, con sus respectivas profundidades.



ANEXO 5. Muestreo de suelo para la determinación de densidad de suelo

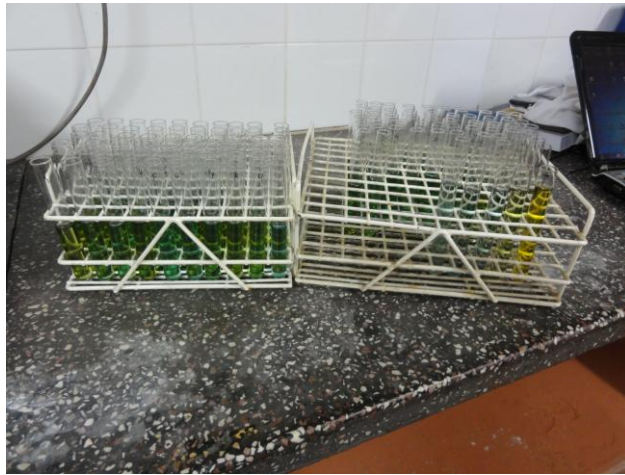


ANEXO 6. Latas de aluminio para el análisis de densidad de suelos**ANEXO 7.** Instalación del experimento en el laboratorio para respiración de la biomasa microbiana.**ANEXO 7.** Pesaje de las muestras para introducir en los frascos de vidrios

ANEXO 8. Preparación de las placas de petri para la fumigación de la biomasa microbiana de los suelos en los diferentes sistemas de manejo.



ANEXO 9. Fumigación de las muestras en campana (CEMIT).**ANEXO 10.** Procedimiento para el análisis de las muestras fumigadas y no fumigadas de la biomasa microbiana (Laboratorio suelos).



ANEXO 11. Preparación de las muestras fumigadas para el análisis en el espectrofotómetro.



ANEXO 12. Análisis de los datos de la Tabla T, en la profundidad de 0 a 0,05 m

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	36,32	19,79	0,2196	13,25	<0,0001	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	267,86	163,66	0,5293	3,87	0,0047	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	19,60	15,54	0,3623	1,40	0,1985	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	113,84	109,65	0,8252	0,30	0,7726	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Campo Natural	5	15436,84	13261,09	0,6808	3,59	0,0071	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	36,32	21,03	0,7349	10,56	<0,0001	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	267,86	214,91	0,6079	1,93	0,0903	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	19,60	13,24	0,0397	2,37	0,0640	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	113,84	131,09	0,8704	-1,25	0,2456	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Directa	5	15436,84	12827,40	0,7330	3,54	0,0077	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	Media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	36,32	20,45	0,3078	7,11	0,0001	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	267,86	177,44	0,0235	4,00	0,0162	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	19,60	16,56	0,2558	1,08	0,3099	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	113,84	116,22	0,1061	-0,24	0,8181	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Convencional	5	15436,84	13394,24	0,0819	1,51	0,1697	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	Media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	19,79	21,03	0,3617	-1,14	0,2886	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	163,66	214,91	0,9057	-2,25	0,0550	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	15,54	13,24	0,2018	1,22	0,2560	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	109,65	131,09	0,9539	-1,47	0,1796	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Directa	5	13261,09	12827,40	0,4558	0,64	0,5427	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	19,79	20,45	0,0353	-0,32	0,7590	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	163,66	177,44	0,0775	-0,83	0,4316	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	15,54	16,56	0,8098	-0,51	0,6262	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	109,65	116,22	0,0717	-0,59	0,5708	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	13261,09	13394,24	0,0383	-0,10	0,9238	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	20,45	21,03	0,1833	-0,27	0,7933	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	177,44	214,91	0,0625	-2,13	0,0659	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	16,56	13,24	0,2913	2,02	0,0780	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	116,22	131,09	0,0795	-1,37	0,2066	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	13394,24	12827,40	0,1479	0,41	0,6940	Bilateral

Análisis de los datos de la Tabla T, en la profundidad de 0,05 a 0,15 m.

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	16,32	14,38	0,6012	0,88	0,4050	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	137,37	217,43	0,7035	8,85	<0,0001	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	19,24	15,75	0,7185	3,09	0,0148	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	179,96	265,27	0,8045	7,51	0,0001	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	21375,13	17550,80	0,5126	1,36	0,2110	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	16,90	16,32	0,5266	0,27	0,7953	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	178,53	137,37	0,0424	2,12	0,0877	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	14,22	19,24	0,2979	2,85	0,0216	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	239,24	179,96	0,0391	2,28	0,0714	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	22640,90	21375,13	0,5539	0,44	0,6682	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	16,90	14,38	0,9101	1,38	0,2054	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	178,53	217,43	0,0854	1,96	0,0857	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	14,22	15,75	0,1705	0,90	0,3919	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	239,24	265,27	0,0621	0,99	0,3515	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Directa	5	22640,90	17550,80	0,9486	2,19	0,0604	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	23,27	16,32	0,4834	2,24	0,0554	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	194,58	137,37	0,0362	2,83	0,0368	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	17,65	19,24	0,2551	0,87	0,4120	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	165,39	179,96	0,1552	0,80	0,4448	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Convencional	5	19778,20	21375,13	0,9165	0,50	0,6276	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	23,27	14,38	0,2315	3,08	0,0151	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	194,58	217,43	0,0735	1,11	0,3004	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	17,65	15,75	0,1435	1,07	0,3162	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	165,39	265,27	0,2306	5,37	0,0007	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Directa	5	19778,20	17550,80	0,5807	0,82	0,4352	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	23,27	16,90	0,1940	2,24	0,0556	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	194,58	178,53	0,9332	0,60	0,5669	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	17,65	14,22	0,9166	1,54	0,1631	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	165,39	239,24	0,4459	2,47	0,0385	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Campo Natural	5	19778,20	22640,90	0,6247	1,04	0,3276	Bilateral

Análisis de los datos de la Tabla T, en la profundidad de 0,15 a 0,25 m.

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	18,56	14,23	0,7190	1,51	0,1699	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	196,90	177,39	0,3687	0,95	0,3676	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	16,63	17,77	0,0467	-0,49	0,6463	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Campo Natural	5	167,37	237,70	0,9528	-3,41	0,0092	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Campo Natural	5	15773,32	19070,10	0,6223	-1,07	0,3166	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	18,56	10,52	0,3471	3,11	0,0144	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	196,90	217,43	0,1057	-1,09	0,3059	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	16,63	16,24	0,0650	0,17	0,8706	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Directa	5	167,37	265,26	0,3127	-5,73	0,0004	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Directa	5	15773,32	12839,17	0,7798	1,18	0,2711	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	18,56	14,97	0,8645	1,09	0,3054	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	196,90	108,74	0,0538	4,81	0,0013	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	16,63	19,76	0,1926	-1,26	0,2420	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Bosque	Siembra Convencional	5	167,37	142,45	0,2178	1,50	0,1718	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Bosque	Siembra Convencional	5	15773,32	19604,41	0,3353	-1,04	0,3293	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	14,23	10,52	0,5531	1,64	0,1392	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	177,39	217,43	0,4320	-3,13	0,0140	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	17,77	16,24	0,8585	1,47	0,1808	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Directa	5	237,70	265,26	0,3402	1,65	0,1373	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Directa	5	19070,10	12839,17	0,4441	2,12	0,0665	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	14,23	14,97	0,5973	-0,24	0,8149	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	177,39	108,74	0,2544	5,65	0,0005	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	17,77	19,76	0,4238	-1,54	0,1625	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	237,70	142,45	0,2386	5,88	0,0004	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Campo Natural	Siembra Convencional	5	19070,10	19604,41	0,6272	-0,13	0,8972	Bilateral

Variables	Tratamientos		n	media		pHomVar	T	p-valor	prueba
Carbono (g kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	14,97	10,52	0,2714	1,61	0,1465	Bilateral
Biomasa (mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	108,74	217,43	0,7079	-12,0	<0,0001	Bilateral
Respiración microbiana(mg C kg ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	19,76	16,24	0,5305	2,64	0,0295	Bilateral
Cantidad de carbono en biomasa microbiana del suelo (kg ha ⁻¹)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	142,45	265,26	0,8094	-10,8	<0,0001	Bilateral
Cantidad carbono orgánico del suelo (kg ha-1)	Siembra Convencional	Siembra Directa	5	19604,41	12839,17	0,2213	1,90	0,0941	Bilateral

