

# SISTEMAS DE MANEJO DE SUELO PARA PEQUEÑAS FINCAS: EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.), DEPARTAMENTO DE SAN PEDRO <sup>1</sup>

Wilson Ever Santacruz Cáceres <sup>2</sup>

Miguel Ángel Florentin Rolón <sup>3</sup>

María Gloria Ovelar <sup>4</sup>

## ABSTRACT

As a part of a long period investigation, an experiment was developed at the Campo Experimental Agrícola de Choré, of Ministerio de Agricultura y Ganadería, Department of San Pedro, Paraguay. The objectives was to evaluate the effects of different soil management systems in the soil chemical properties and corn yield in small farm soil management systems were studied during 9 years. To determine soil chemical properties two factors were considered: A factor (conventional tillage, minimum tillage without green manure, minimum tillage with green manure, direct planting without green manure, direct planting with green manure) and B factor (depth sample: 0 to 5 cm, 5 to 10 cm and 10 to 20 cm). Variables analyzed were pH, extractable phosphorus, exchangeable aluminum, exchange bases and organic matter. The experiment was installed in a divided plot design (5 x 3) with three replications and corn yield were evaluated in each case. Results derived from the experiment permit to conclude the following: (1) Soil organic matter was significantly higher in those treatment with green manure at the 0 to 5 cm depth comparing with the conventional tillage; (2) Soil pH were significantly lower in those systems including green manure, minimum tillage and direct planting; (3) Soil exchangeable aluminum were not affected significantly at the 0 to 5 cm depth in any management systems; (4) Higher corn yield was obtained with the minimum tillage systems with green manure and direct planting with green manure.

**Key words:** Soil management systems, small farm, chemical properties, corn yield.

## RESUMEN

Como parte de una investigación de larga duración realizada en el Campo Experimental Agrícola de Choré, Departamento de San Pedro, Paraguay, dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería, se desarrolló un ensayo con el objetivo de evaluar los efectos, sobre las propiedades químicas del suelo y sobre el rendimiento del maíz, de diferentes sistemas de manejo de suelo. Los sistemas objetos del estudio, cuentan con 9 años de manejo. Para la determinación de las propiedades químicas, como respuesta de los sistemas de manejo: labranza convencional, labranza mínima sin abono verde, labranza mínima con abono verde, siembra directa sin abono verde y siembra directa con abono verde se consideraron tres profundidades: 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm. Las variables analizadas fueron: los contenidos de materia orgánica, fósforo, bases intercambiables, aluminio y el pH. La evaluación presentada corresponde al periodo agrícola donde el primer factor (A) corresponde a los sistemas de labranza y el factor (B), a las profundidades. Se observó el rendimiento del maíz sobre cada sistema de manejo. Los resultados obtenidos permiten concluir que: (1) El nivel de la materia orgánica fue mayor en la capa de 0 a 5 cm en los tratamientos que incluyeron el uso de abonos verdes; (2) Los valores de pH del suelo fueron inferiores en los sistemas que incluyeron abonos verdes como la siembra directa y labranza mínima, indicando una tendencia de acidificación más acentuada con relación al sistema convencional; (3) Los niveles de aluminio intercambiable aumentan cuando existe una cobertura de suelo con restos de abonos verdes; (4) Los mayores rendimientos de granos de maíz se lograron en los sistemas de labranza mínima con abono verde y siembra directa con abono verde.

**Palabras clave:** Manejo de suelo, pequeñas fincas, propiedades químicas, rendimiento de maíz.

1 Parte de la Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

2 Egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Año 2006.

3 Ingeniero Agrónomo, MSc, Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.

4 Ingeniero Agrónomo, MSc, Docente Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.

## INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, según datos de Censo Agropecuario Nacional (1997), el 54% de las fincas tienen entre 5 y 2 hectáreas. Uno de las características de las pequeñas explotaciones, el deficiente aprovechamiento de los recursos naturales, como el suelo. Este recurso ha sido mal utilizado desde décadas atrás y en la actualidad ya no proporciona los nutrientes en cantidades adecuadas a las necesidades de las plantas cultivadas por los productores.

Según Florentín et al., (2001), en los sistemas tradicionales de manejo de suelo en el ámbito del pequeño productor del Paraguay, caracterizados por laboreo con arado, quema de residuos orgánicos, monocultivos, etc., predominan los suelos descubiertos o con baja cobertura durante gran parte del año. Los mismo autores mencionan que el suelo desnudo es uno de los factores más importantes de la degradación de los suelos en estos sistemas. Por lo tanto, existe una urgente necesidad de implementar medidas que puedan posibilitar la recuperación y conservación de la capacidad productiva de los mismos.

En las últimas décadas aparecieron algunas alternativas para la conservación y recuperación de los suelos en regiones tropicales y subtropicales que han perdido sus propiedades productivas, de entre las cuales se destaca la siembra directa y la labranza mínima; Calejari (1997) y Derpsch & Florentín (1992), demostraron que los abonos verdes utilizados en sistemas productivos conducidos en siembra directa y en rotación con otros cultivos son muy efectivos, logrando no solamente una mejor productividad de los cultivos, sino la conservación y la recuperación de la fertilidad de los suelos.

Sin embargo, estos métodos conservacionistas de manejo aun poseen algunas controversias, como ser las bajas producciones en la fase inicial, en ese sentido De Maria & Castro (1993) comprobó que en los primeros tres años no existen diferencias significativas con respecto a la preparación convencional. Además, se mencionan otras dificultades en su aplicación, principalmente los relacionados con el control de malezas y la inversión importante para adquisición de implementos utilizados en los sistemas referidos.

En respuesta a esta situación, se vienen desarrollando trabajos de investigación en la búsqueda de informaciones sobre las medidas que posibilitan la recuperación y consideración de la capacidad productiva de los suelos.

Con el presente trabajo se pretende evaluar los efectos de cada uno de los sistemas de manejo de suelo propuestos para pequeños productores, incluyendo la siembra directa y labranza mínima y su influencia sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento del maíz

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio forma parte de un experimento de larga duración instalado en el Campo Experimental Agrícola de Choré, en un suelo clasificado como Podsolico Rojo oscuro latosólico, epiutrófica, arenosa, suavemente ondulada de bosques latifoliados. El ensayo fue instalado en el mes de septiembre de 1995 en una parcela con ocho años de uso después del desmonte. En la Tabla 1 se presentan algunas características químicas del suelo antes del inicio del experimento.

**Tabla 1. Valores iniciales de las características químicas del suelo antes de la instalación del experimento. Choré, 1995.**

Profun.	pH	M.O.	P	Ca	Mg	K	Na	Al+H
Cm		%	ppm.	cmol. / kg				
0 - 20	5,8	1,2	2,0	2,18	1,41	0,17	0,0	0,0

En el presente estudio fue evaluado el efecto de 5 tratamientos de manejo de suelo sobre las propiedades químicas del suelo y en el rendimiento del maíz en condiciones no fertilizadas (tratamiento sin fertilización química). Para el estudio de las propiedades químicas se adoptó un diseño de parcelas divididas 5 x 3, con 3 repeticiones, siendo considerados los 5 sistemas de manejo de suelo como parcela principal (factor A), y utilizando 3 profundidades de muestreo dentro de la capa arable del suelo como parcela secundaria (factor B).

Los tratamientos de sistemas de manejo de suelo (factor A) estudiados fueron los siguientes:

**a) Sistema de labranza convencional (LC):** limpieza de las parcelas con machete, quema de los residuos culturales, labranza con arado de rejas a tracción animal, siembra con sembradora manual tipo matraca y una o dos carpidas y aporque con carancho.

**b) Sistema de labranza mínima sin abonos verdes (LMSAV):** limpieza de las parcelas con machete, quema de los residuos culturales, apertura de surcos con un surcador tipo escarificador a tracción animal o con azada, siembra con sembradora manual, una o dos carpidas con azada y aporque de los cultivos con carancho.

**c) Sistema de labranza mínima con abonos verdes (LMCAV):** se realiza manejo de los abonos verdes con rolo cuchillo, apertura de surcos de aproximadamente 20 cm de ancho para demarcar las futuras hileras del cultivo, con azada y o con un surcador tipo escarificador a tracción animal, siembra de los cultivos con sembradora manual, una o dos carpidas del cultivo con azada, procurando mover lo mínimo posible el suelo, limitándose a carpidas selectivas dentro de la parcela.

d) **Sistema de siembra directa sin abonos verdes (SDSAV):** la siembra directa consiste en sembrar con la sembradora manual sobre una cobertura vegetal muerta (malezas y restos de cultivos), que se realiza a través de corpidas con machete o pasada de rollo cuchillo y el uso herbicidas desecantes en la preparación del suelo. El control posterior de las malezas sobre el cultivo establecido se realiza aplicando herbicidas.

**Sistema de siembra directa con abonos verdes (SDCAV):** consiste en sembrar con la sembradora manual sobre una cobertura vegetal muerta preparada a partir de abonos verdes y restos de cultivos, que se realizaron a través de corpidas con machete o pasada de rollo cuchillo y el uso herbicidas deseantes, sin la preparación tradicional del suelo con arado. El control de las malezas dentro del cultivo se hizo aplicando herbicidas. Los tratamientos de profundidades de muestreo de suelos (factor B) utilizados fueron los siguientes: Cada parcela elemental tenía 5 m de ancho y 10 m de largo (50 m<sup>2</sup>) en donde se instaló cada uno de los diferentes tratamientos de manejo de suelos.

- Profundidad 1: 0 a 5 cm.
- Profundidad 2: 5 a 10 cm.
- Profundidad 3: 10 a 20 cm.

Para evaluar el efecto de los tratamientos se implementó una rotación bianual, utilizando los dos cultivos más importante para la mayoría de los pequeños productores de la zona, que son el maíz (*Zea mays* L.), variedad Guaraní V-312 y el algodón (*Gossypium hirsutum* L.), variedades recomendadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Además, en los tratamientos con sistema de siembra directa y labranza mínima se incluyeron abonos verdes en los periodos de entre zafra, utilizando la Mucuna Ceniza (*Mucuna pruriens* L.) asociados al Maíz y una mezcla de abonos verdes de invierno sembradas después del algodón. Las especies de invierno fueron la avena negra (*Avena strigosa*), el nabo forrajero (*Raphanus sativus*) y el lupino blanco (*Lupinus albus*)

Para evaluar las características químicas fueron extraídas y analizadas muestras de suelo al finalizar el noveno año desde la implementación del experimento. Para el efecto fueron colectadas ocho sub-muestras en cada unidad experimental, utilizándose un extractor estándar tipo tubo, las cuales fueron inmediatamente mezcladas obteniéndose una muestra compuesta.

Las muestras de suelos fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de San Lorenzo, donde fueron secadas al aire por espacio de una semana, luego tamizadas utilizando un tamiz de 2 mm, obteniéndose de esta manera la fracción de la tierra fina seca al aire (tfsa) a ser utilizada para los análisis. Las variables químicas estudiadas fueron: contenidos de materia orgánica, ph, fósforo, bases intercambiables y

aluminio, también se evaluó el rendimiento del maíz en los diferentes sistemas de manejo

Los datos correspondientes a cada característica química evaluada fueron sometidos al análisis de varianza por el teste F, utilizando el diseño de parcelas subdivididas 5 x 3, con 3 repeticiones. Para la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad error. Para la evaluación del rendimiento del maíz se realizó el análisis de varianza por el teste F, utilizando un diseño de bloques al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Efecto de los sistemas de manejo de suelo sobre las propiedades químicas del suelo

#### 3.1.1 Materia orgánica

De acuerdo con los resultados que se observan en la Tabla 2, con relación a la distribución del contenido de materia orgánica en el perfil del suelo, se constató una mayor acumulación en la capa superficial de 0 a 5 cm, estadísticamente superior con respecto a las profundidades 5 a 10 cm y 10 a 20 cm; también se puede apreciar que solamente hubo efecto significativo de los sistemas de manejo en estudio en la capa de suelo de 0 a 5 cm de profundidad.

**Tabla 2. Valores medios de la materia orgánica del suelo, según sistemas de manejo y por profundidad. Choré, 2004.**

Medias seguidas por diferentes letras; en minúscula en la columna y

Sistemas de Manejo	Materia orgánica (%)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	0,680 de	0,670 a	0,593 a	0,647 a
L. mínima sin abono verde	0,877 abcd	0,580 a	0,627 a	0,694 a
L. mínima con abono verde	1,203 a	0,767 a	0,757 a	0,909 a
S. directa sin abono verde	1,117 ab	0,507 a	0,473 a	0,699 a
S. directa con abono verde	1,083 abc	0,503 a	0,507 a	0,697 a
Media profundidad	0,992 A	0,605 B	0,591 B	

en mayúscula en la fila, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la Tabla 2 se observa también que en la capa de suelo de 0 a 5 cm de profundidad hubo valores significativamente más altos de materia orgánica en los sistemas de labranza mínima con abono verde, siembra directa con abono verde y siembra directa sin abono verde en relación con el sistema convencional que se mantuvo igual estadísticamente a la labranza mínima sin abono verde. Muchos autores evidenciaron también mayor porcentaje de materia orgánica en sistema de siembra directa en diferentes condiciones de suelo y clima, como Thomas (1994), en Argentina, también Muzziili (1983), en un latosólico rojo del Brasil, Sidiras & Pavan (1985), en suelos latosólico rojo y tierra roja estructurada del Estado de Paraná (BR) y De Maria & Castro (1993), en un experimento realizado durante siete años sobre un latosólico rojo distrófico del Brasil.

Los autores atribuyeron estos resultados, entre otras cosas, a la ausencia de movimiento del suelo, una disminución de la tasa de oxidación de la materia orgánica, conservación de los restos de cultivos en la superficie del suelo y a la menor actividad microbiana que ocurren en el sistema de siembra directa.

El mayor porcentaje en el contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo en el sistema de siembra directa y labranza mínima puede ser atribuido al retorno de gran cantidad de biomasa depositada en esta capa a través de los residuos de cultivos y principalmente debido al uso de los abonos verdes en este sistema.

En contraste, el sistema convencional de labranza con arado reveló una vez más que la preparación intensiva del suelo disminuye gradualmente el nivel de materia orgánica con el tiempo. Resultados similares fueron evidenciados por Almeida & Rodrigues (1985) y Seguy et al., (2001), quienes atribuyeron el hecho a la mineralización acelerada de la materia orgánica cuando los implementos de labranza mueven y dejan descubierta la superficie del suelo preparado.

### 3.1.2 Potencial hidrógeno

En la Tabla 3 se observa que los valores de pH fueron afectados en forma significativa por los diferentes sistemas de manejo de suelo en las tres profundidades de muestreo estudiados. En este sentido, el tratamiento de labranza convencional fue el que arrojó mayores valores de pH del suelo, presentándose significativamente superior a los demás sistemas de labranza y manejo de suelos. Los sistemas que incluyeron abonos verdes, tanto en la labranza mínima como en la siembra directa arrojaron valores inferiores de pH a los demás tratamientos y sus valores se encontraron por debajo del nivel crítico de importancia agronómica (5,6).

Las profundidades de 5 a 10 y 10 a 20 cm tuvieron una tendencia similar, siendo la labranza convencional con arado y la labranza mínima sin abono verde, los tratamientos que arrojaron mayores valores de pH con relación a los otros sistemas de manejo.

Los resultados de la tendencia de mayor acidificación en el sistema de siembra directa y labranza mínima con relación al sistema convencional concuerdan con las obtenidas por Blevins et al., (1977) y Castro, citado por Florentín (1996). Estos autores atribuyeron como principal causa de este efecto, al mayor empleo de fertilizantes nitrogenados en los sistemas de siembra directa. No obstante, debido a que en el presente trabajo no se utilizó fertilizantes de origen mineral, la causa puede provenir de la mineralización, principalmente por el proceso de nitrificación del nitrógeno, de la gran cantidad de compuestos orgánicos producidos y reciclados en los tratamientos con abonos verdes.

**Tabla 3. Valores medios de pH del suelo, por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004.**

Sistemas de Manejo	Potencial hidrogeno			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	6,597 a	6,020 a	5,630 a	6,082 a
L. mínima sin abono verde	6,180 b	5,877 ab	5,380 ab	5,812 b
L. mínima con abono verde	5,087 d	4,530 d	5,130 bc	4,915 d
S. directa sin abono verde	5,740 c	5,507 c	4,563 d	5,270 c
S. directa con abono verde	5,020 de	4,303 de	4,237 e	4,520 e
<b>Media profundidad</b>	<b>5,724 A</b>	<b>5,247 B</b>	<b>4,988 B</b>	

Medias seguidas por la misma letra, en minúscula en la columna y en mayúscula en la fila indican que son iguales estadísticamente por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Por el contrario, Sidiras & Pavan (1985) y Muzilli (1983) concluyeron que la siembra directa y la cobertura permanente del suelo proporcionan aumentos de pH en la capa superficial del suelo. Estos resultados pueden estar relacionados con aplicaciones superficiales de cal agrícola en estos tratamientos y a la baja movilización de esta enmienda a través del perfil del suelo.

### 3.1.3 Fósforo

En el análisis estadístico de los valores medios de fósforo obtenidos del análisis de suelo, demostraron un alto coeficiente de variación, por esa razón, se procedió a la transformación de los datos por el método de raíz cuadrada, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4. Valores medios de fósforo del suelo, por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004.**

Sistemas de manejo	Fosforo (ppm)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	2,293	1,758	0,933	1,661 a
L. mínima sin abono verde	2,905	1,372	1,062	1,779 a
L. mínima con abono verde	2,400	1,062	0,933	1,465 a
S. directa sin abono verde	2,043	1,243	1,062	1,449 a
S. directa con abono verde	1,863	1,500	1,093	1,485 a
<b>Media profundidad</b>	<b>2,301 A</b>	<b>1,387 AB</b>	<b>1,017 B</b>	

Medias seguidas por la misma letra, en minúscula en la columna y en mayúscula en la fila indican que son iguales estadísticamente por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Según lo observado, los valores del fósforo transformados, no arrojaron diferencias significativas entre los diferentes sistemas de manejo de suelo, en las tres profundidades estudiadas. Esto no concuerda con los resultados encontrados por Castro et al., (1986), que afirman que el contenido del fósforo aumenta con la implementación de la siembra directa, principalmente en las capas más superficiales. Según los autores mencionados, este hecho se manifestó en sistemas agrícolas tractorizados y que normalmente llevan aplicaciones anuales de fertilización fosfatada. En el presente trabajo, no hubo acumulación de fósforo en la capa

superficial del suelo en el tratamiento con siembra directa, hecho que puede ser atribuido a la ausencia de utilización de fertilizantes químicos durante los nueve años del experimento. Al contrario, a pesar de no haber diferencias estadísticas, hubo una tendencia de mayor concentración de fósforo en el sistema de manejo convencional con respecto a la siembra directa, que puede estar relacionado con la menor producción del maíz y algodón obtenida y consecuentemente menor extracción de este nutriente por los cultivos en este sistema.

La mayor concentración del fósforo en la parte superficial puede ser atribuida a la mayor acumulación de residuos orgánicos que se recicla y se acumula en la superficie del suelo, que después de su mineralización puede liberar al suelo importantes cantidades de este nutriente.

### 3.1.4 Bases intercambiables

Se observa en la Tabla 5 que el contenido de calcio en la capa de 0 a 5 cm, tuvo diferencias significativas entre los tratamientos de sistemas de manejo de suelo, encontrándose que la siembra directa sin abono verde presentó valores de calcio estadísticamente mayores que todos los demás tratamientos.

**Tabla 5. Valores medios de calcio del suelo, por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004**

Medias seguidas por la misma letra en la columna y en la misma profundidad indican que son iguales estadísticamente por la prueba

Sistemas de manejo	Calcio (cmol/kg)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	1,443 bc	1,403 a	1,217 abc	1,354 a
L. mínima sin abono verde	1,417 bcd	1,317 abc	1,250 ab	1,328 a
L. mínima con abono verde	1,500 b	1,367 ab	1,400 a	1,422 a
S. directa sin abono verde	1,783 a	1,137 abcd	1,023 bcd	1,314 a
S. directa con abono verde	1,143 c	0,667 e	0,547 e	0,785 b
<b>Media profundidad</b>	<b>1,457 A</b>	<b>1,178 B</b>	<b>1,087 B</b>	

de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la profundidad 5 a 10 y 10 a 20 cm los resultados fueron similares. En general todos los valores de calcio encontrados en el estudio se mantuvieron inferiores al nivel crítico (2,51 cmol/kg).

Como se observa en la Tabla 6 el contenido de magnesio no tuvo diferencias significativas entre sí en función a los tratamientos estudiados en las tres profundidades de muestreo de suelo. Considerando la media de las tres profundidades de muestreo, se observa que el nivel de magnesio en el suelo fue significativamente mayor en el tratamiento de siembra directa sin abono verde, con respecto al tratamiento de siembra directa con abono verde. Los demás tratamientos de manejo de suelo presentaron valores intermedios.

**Tabla 6. Valores medios de magnesio del suelo, por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004.**

Sistemas de manejo	Magnesio (cmol/kg)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	0,367	0,283	0,260	0,303 ab
L. mínima sin abono verde	0,407	0,390	0,407	0,401 ab
L. mínima con abono verde	0,477	0,253	0,347	0,359 ab
S. directa sin abono verde	0,630	0,483	0,267	0,460 a
S. directa con abono verde	0,320	0,193	0,167	0,226 b
<b>Media profundidad</b>	<b>0,440 A</b>	<b>0,320 A</b>	<b>0,290 A</b>	

Medias seguidas por la misma letra, en minúscula en la columna y en mayúscula en la fila indican que son iguales estadísticamente por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Con relación al Ca y Mg, en trabajos realizados por Sidiras & Pavan (1985), Muzilli (1983), concluyeron que la siembra directa y cobertura permanente proporcionan aumentos en los valores de calcio y magnesio, principalmente en las capas superficiales, comparados con el sistema convencional. Sin embargo, Andrioli et al., citado por Ruiz Díaz (1998), concluyeron que los sistemas que promueven el movimiento de suelo (rastra pesada), aumentan significativamente los tenores de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en la capa de 0 a 10 cm.

Por otro lado, se constató que el contenido de potasio en los diferentes sistemas de manejo de suelo propuestos presenta una mayor concentración de este nutriente en la capa de 0 a 5 cm, comparado con las demás profundidades de muestreo. Tal como muestra la Tabla 7 el contenido de potasio en la profundidad 0 a 5 cm en los sistemas de siembra directa sin abono verde y la labranza convencional, se mantuvieron superiores estadísticamente, comparados con la labranza mínima con abono verde. Los demás tratamientos presentaron resultados intermedios.

Estos resultados no concuerdan con lo observado por Karathanasis & Wells (1990), que encontraron que la siembra directa produjo tenores superiores de potasio intercambiable, comparados con el sistema convencional.

**Tabla 7. Valores medios de potasio del suelo, por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004.**

Sistemas de manejo	Potasio (cmol/kg)			
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	Medias
L. convencional	0,250 ab	0,160 a	0,130 a	0,180 a
L. mínima sin abono verde	0,227 abc	0,117 b	0,113 a	0,152 a
L. mínima con abono verde	0,200 c	0,120 ab	0,107 a	0,142 a
S. directa sin abono verde	0,253 a	0,137 ab	0,100 a	0,163 a
S. directa con abono verde	0,220 abc	0,110 b	0,114 a	0,148 a
<b>Media profundidad</b>	<b>0,230 A</b>	<b>0,128 B</b>	<b>0,112 B</b>	

Medias seguidas por la misma letra, en minúscula en la columna y en mayúscula en la fila indican que son iguales estadísticamente por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la profundidad 5 a 10 cm, el suelo presenta cantidades iguales estadísticamente de K<sup>+</sup> disponible entre la labranza convencional, la siembra directa sin abono verde y labranza mínima con abono verde.

En la profundidad 10 a 20 cm todos los sistemas de manejo de suelo se mantuvieron similares, sin que haya diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Estos resultados concuerdan con Edwards (1993), que verificó mayor cantidad de potasio disponible en el sistema de labranza mínima comparados con labranza convencional y siembra directa. Conviene resaltar que el nivel promedio de potasio en la capa arable del suelo, independientemente de los sistemas de manejo, se encuentra por encima del nivel crítico (0,12 cmol/kg).

### 3.1.5 Aluminio

Tal como muestra la Tabla 7, el sistema de labranza mínima con abono verde y la siembra directa con abono verde son los tratamientos que arrojaron mayores niveles de aluminio intercambiable, igualmente, son los sistemas de manejo que arrojaron índices mas altos de acidez intercambiable en el suelo. En las profundidades de 0 a 10 cm los valores del aluminio fueron nulos en los tratamientos de labranza convencional, labranza mínima sin abono verde y siembra directa sin abono verde.

**Tabla 8. Valores promedios del aluminio por sistemas de manejo y por profundidades de muestreo. Choré, 2004.**

Sistemas de manejo	Aluminio (cmol <sub>e</sub> /kg)		
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm
Labranza convencional	0,00	0,00	0,00
L. mínima sin abono verde	0,00	0,00	0,02
L. mínima con abono verde	0,27	0,62	0,74
S. directa sin abono verde	0,00	0,00	0,06
S. directa con abono verde	0,31	0,72	0,79

En la profundidad 0 a 5 cm los valores de aluminio no alcanzaron los niveles mínimos de importancia agrícola que es de 0,4 cmol<sub>e</sub>/kg, en todos los tratamientos estudiados.

El contenido de aluminio en las capas 5 a 10 cm y 10 a 20 cm alcanzaron valores que superaron el nivel mínimo de importancia agrícola en los sistemas de labranza mínima con abono verde y siembra directa con abono verde. Estos resultados no concuerdan con Parra, citado por Florentín (1996) quien indicó que los diferentes sistemas de manejo no afectaron diferencialmente la distribución del aluminio en la profundidad 0 a 20 cm. Por otro lado Centurión et al., (1985), evidenciaron menores valores de aluminio intercambiable en el suelo sobre el sistema de siembra directa, comparando con el sistema convencional.

### 3.2 Efecto de los sistemas de manejo en el rendimiento del maíz

El efecto de los cinco sistemas de manejo de suelo en los rendimientos promedios de granos de maíz el Año agrícola 2004/2005, es presentado en la tabla 9.

Se puede observar que los mayores rendimientos de granos de maíz, se obtuvieron en los sistemas de labranza mínima con abono verde y siembra directa con abono verde, estos tratamientos arrojaron diferencias estadísticamente superiores con respecto a los sistemas de labranza convencional y labranza mínima sin abonos verdes, donde el sistema de siembra directa sin abono verde se mantuvo como valor intermedio.

**Tabla 9. Rendimientos promedios del Maíz, variedad Guarani V-312 por sistemas de manejo de suelo. Choré, Año agrícola 2004/2005.**

Sistemas de manejo de suelo	Producción de Maíz
	Rendimiento medio (kg/ha)
Labranza convencional	2.542 c
Labranza mínima sin abonos verdes	2.349 c
Labranza mínima con abonos verdes	3.702 a
Siembra directa sin abonos verdes	2.648 bc
Siembra directa con abonos verdes	3.520 ab
Coeficiente de variación: 14,66 %	

Medias seguidas por la misma letra en la columna, indican que son iguales estadísticamente por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Waggar & Denton (1992), en diferentes suelos de Estados Unidos, donde la siembra directa presentó una producción media superior al sistema convencional, en cinco años de estudio. Este comportamiento fue atribuido por los autores a la mayor disponibilidad de agua en periodos secos y por la mayor cobertura vegetal que favorece la infiltración en el suelo. Por otro lado Zaffaroni et al., (1991), encontraron que los diferentes métodos de preparación de suelo, no afectaron significativamente los rendimientos del maíz y del frijol.

Los resultados obtenidos indican, que tanto la Siembra directa como la Labranza mínima son sistemas que funcionan positivamente, cuando implican el uso de abonos verdes, por arrojar rendimientos superiores en la producción. Este hecho puede ser atribuido a la gran cantidad de biomasa que es aportada anualmente por los abonos verdes, que a través de la mineralización liberan al suelo cantidades considerables de nutrientes disponibles para las plantas.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos presentados en el presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

- El nivel de la materia orgánica fue mayor en la capa de 0 a 5 cm en los tratamientos que incluyeron el uso de abonos verdes.
- Los valores de pH del suelo fueron inferiores en los sistemas que incluyeron abonos verdes como la siembra directa y labranza mínima, indicando una tendencia de acidificación más acentuada con relación al sistema convencional.
- Los niveles de fósforo no fueron afectados por los diferentes sistemas de manejo de suelo y solamente hubo mayor contenido de fósforo entre las capas 0 a 5 cm y 5 a 10 cm.
- Los contenidos de las bases intercambiables no fueron afectados por los sistemas de manejo.
- Los niveles de aluminio intercambiable aumentan cuando existe una cobertura de suelo con restos de abonos verdes
- Los mayores rendimientos de granos de maíz se lograron en los sistemas de labranza mínima con abono verde y siembra directa con abono verde.

## LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F.S.; RODRÍGUEZ, B.N. 1985. Guía de herbicidas: contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional. Londrina, BR: IAPAR. 482 p.
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W.; THOMAS, G.W. 1977. Influence of no tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after five years of continuous corn. *Agron. J. (US)*. 69: 383 – 396.
- CALEGARI, A. 1997. Importancia de la rotación de cultivos y abonos verdes en la siembra directa In: CURSO SOBRE SIEMBRA DIRECTA (1997, Capitán Miranda, Py). Curso sobre siembra directa. VIEDMA, L. (Ed.). Encarnación, PY: PROCISUR/BID. p. 51 – 68.
- CASTRO, O.M.; LOMBARDI, F.; QUAGGIO, J.A.; DE MARIA, I.C.; VIERA, S.R.; DECHEN, S.C. 1986. Perdas por erosão de nutrientes vegetais na sucessão soja/trigo em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 10 : 293 – 297.
- CENTURIÓN, J.F.; DEMATTE, J.L.; FERNÁNDEZ, F.M. 1985. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 9 (3): 267 – 270.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. 1993. Fósforo, potasio e matéria orgânica em um latossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 17: 471 – 477.
- DERPSCH, R.; FLORENTIN, M.A. 1992. La mucuna y otras plantas de abono verde para pequeñas propiedades. Asunción, PY: MAG. 44 p. (Publicación miscelánea, 22).
- EDWARDS, J.H.; WOOD, C.W.; THURLOW, D.L.; RUF, M.E. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Sci. Soc. Am. J. (US)*. 56: 1577 – 1582.
- FLORENTIN, M.A. 1996. Sistema de cultivo de milho (*Zea mays* L.) em latossolo vermelho escuro: efeitos no solo e na planta. Tesis (M. Sc.). Jaboticabal, BR: FCAVJ/UNESP 132 p.
- FLORENTIN, M.A.; PEÑALVA, M.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. San Lorenzo, PY: MAG/GTZ. 82 p.
- KARATHANASIS, A.D.; WELLS, K.L. 1990. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J. (US)*. 54: 800 – 806.
- MUZZILLI, O. 1983. Influencia do sistema de plantio direto comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada aravel do solo. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 7: 95 – 102.
- RUIZ DIAZ, R. 1998. Sistemas de manejo de solo e sua influencia em atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho-escuro de Ponta Porã, MS. Tesis (Doctorado). Viçosa, BR: UFV. 143 p.
- SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A.C. 2001. Sistemas de cultivo e dinâmica da matéria orgânica. Encarte técnico de Informações agronômicas: Potafos (BR). Nº 96: 32 p.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. 1985. Influencia do sistema de manejo do solo no seu nivel de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 9: 249 – 254.
- THOMAS, G.W. 1994. Evaluación de la siembra directa en la Argentina: conclusiones de la visita 1993 —1994. In: CONGRESO NACIONAL DE SIEMBRA DIRECTA (3, 1994, Villa Giordino, AR). Trabajos presentados. TRUCCO, V. (Ed.). Córdoba, AR: AAPRESID. p. 270 – 292.
- WAGGER, M.G.; DENTON, H.P. 1992. Crop on tillage rotation: Grain yield, residue cover, and soil water. *Soil Sci. Soc. Am. J. (US)*. 56: 1233 – 1237
- ZAFFARONI, E.; BARROS, H.H. de A.; NOBREGA, J.A.M.; LACERDA, J.T.; SOUZA JR., V.E. 1991. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agronômicas de milho e feijão no nordeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo (BR)*. 15: 99 – 104.