

Impactos de sistemas de labranzas en la calidad de suelos arroceros

Francisco Jiménez¹ y Pedro Núñez¹

Los suelos arroceros dominicanos son manejados mediante dos sistemas: convencional (SC) y mínima labranza (ML). El SC produce movimiento del suelo, con riesgo de pérdida de la calidad del mismo en comparación al de ML. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de los suelos arroceros sometidos a dos sistemas de producción en la región norcentral. Se ubicaron cinco fincas con ML y, entorno a estas, cinco con SC. Se determinaron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Los datos fueron analizados mediante prueba t ($\alpha \leq 0.05$). Los resultados para las propiedades físicas y químicas indicaron que los suelos bajo ML en promedio presentaron mayor compactación (1.42 kg cm^{-2}) en comparación a SC (0.97 kg cm^{-2}). La respiración microbiana solo mostró diferencia estadística en la localidad de Jayaco con 6031.38 ± 7.142 y $3202.46 \pm 9.023 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ss}$ en ML y SC, respectivamente. Igualmente, el carbono biomásico (CBM) con $5859.72 \pm 3226.82 \pm 9.023 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ss}$. Las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos no mostraron diferencia estadística para los sistemas de labranza, cuyos valores promedios 5.3 ± 0.14 , 3.3 ± 0.12 y $5.4 \pm 0.13 \text{ UFC g}^{-1}$ en ML y SC con 5.1 ± 0.09 , 3.1 ± 0.08 y $5.2 \pm 0.08 \text{ UFC g}^{-1}$, respectivamente. En cuando a nematodos, en ML predominó el género *Dorylaimida* y en SC el *Meloidogyne*. Ambos sistemas afectan la calidad de los suelos arroceros, sin embargo los suelos bajo ML pudieran tener mayor capacidad de resiliencia al ser sometido a labranza cada cierto periodo de tiempo. .

Palabras clave: Labranza, suelo, calidad, arroz.

INTRODUCCIÓN

El 98% de la superficie sembrada de arroz en la República Dominicana es bajo el sistema de labranza convencional (SC) y menos del 1% utiliza mínima labranza (ML). El SC se caracteriza por el uso de maquinarias agrícolas para la preparación del suelo, que implica la ruptura de la estructura del suelo, así como el uso volúmenes relativamente altos de agua. Esta actividad causa degradación del suelo, reduciendo así la capacidad productiva y la sostenibilidad del mismo. Las prácticas de labranza mínima consisten en realizar la siembra bajo la mínima perturbación del suelo, mediante el sistema de siembra directa en hileras y directa ó boleó.

Según Carter *et al.* (1997), la calidad del suelo se refiere a la capacidad del mismo para funcionar para un uso específico. En el contexto de la producción agrícola, la calidad del suelo está asociada con su relación para soportar el desarrollo de la planta, maximizando la producción, conservando la función máxima posible del suelo, con la menor degradación o daño ambiental (Gregorich *et al.* 1994). Los indicadores de calidad del suelo se han relacionados con el aumento de la productividad de los agro ecosistema. Se puede evaluar a través de la cuantificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, la mayoría de los cuales se asocian con el contenido de carbono (C) del suelo y su composición relativa y

función. La labranza ocasiona disturbios al suelo y una mayor tasa de descomposición de los rastrojos en comparación con terrenos sin labrar; sin embargo, los productos derivados de este proceso no son aprovechados en su totalidad por los cultivos a la misma velocidad que se generan, produciéndose pérdidas de los mismos. La continua labranza del suelo conduce a menor nivel de agregación y estabilidad física de la materia orgánica del suelo (MOS) (Carter *et al.* 1998).

Las prácticas de cultivo en la producción de arroz bajo SC, incluidas: preparación de suelo en condiciones de anegación, uso de pesticidas y la aplicación de fertilizantes, se han asociados con los cambios en la calidad del suelo y del agua, produciendo cambios en la capacidad productiva de los suelos (Doran y Smith 1987). En este sentido el SC está asociado con pérdidas de MOS del suelo, aumento de CO_2 y emisiones de metano, degradación de la estabilidad estructural del suelo, reducción de la fertilidad y reducción de la actividad biológica (Rolán *et al.* 2003). El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de los sistemas de ML y SC sobre la calidad de suelos arroceros.

¹ Investigadores del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), Santo Domingo, DO. fjimenez23@hotmail.com

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar

El estudio se realizó en las provincias Monseñor Nouel y La Vega localizadas en la región norcentral de la República Dominicana. En Monseñor Nouel se realizó en las localidades de Jayaco y Masipetro, ubicadas entre los 18° 57' 43" y 19° 01' 51" latitud norte, y 70° 25' 34" y 70° 25' 06" longitud oeste, a una altitud de 170 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una temperatura, humedad relativa y precipitación media anual de 26° C, 80% y 2,200 mm, respectivamente. En la provincia de La Vega el estudio se realizó en la localidad de Rancho Viejo, ubicada entre los 19° 15' N y 70° 33' O a 97 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 27° C y 1423 mm, respectivamente. En la Tabla 1, se describen las características de los suelos.

Metodología

Para el estudio se ubicaron un total de cinco fincas bajo el sistema de ML y cinco bajo el SC en las dos provincias, las cuales se ubicaron lo más cerca posible para reducir al mínimo la variabilidad del suelo. Cada finca seleccionada se dividió en cuatro partes (repeticiones). Las fincas seleccionadas tienen un tiempo de 9 años, sometidas a ML y más de 30 años bajo SC.

VARIABLES Y TOMA DE DATOS

Las propiedades del suelo fueron determinadas mediante muestras, y las mismas fueron tomadas después de la cosecha de arroz y antes de iniciar las labores para la siguiente siembra. En cada finca seleccionada se tomaron cuatro muestras, una en cada una de las cuatro partes en que se dividió. Cada muestra estuvo compuesta por varias submuestras, las cuales fueron tomadas a una profundidad de 20 cm y en forma de zigzag. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico (polietileno), las mismas se separaron para los análisis físicos y biológicos, y para estos últimos fueron mantenidas en condiciones de temperatura entorno a 4° C para ser enviada al laboratorio.

a) Propiedades físicas

En los primeros 20 cm se evaluó la resistencia a la penetración en kg cm^{-2} (Forsythe 1985, Arshad *et al.* 1996; Sadzawka *et al.* 2000; Díaz 2004 y Fontagro 2008). La densidad aparente se determinó sobre la superficie del suelo, como la relación del peso seco del suelo dentro de un volumen conocido (método del cilindro). La porosidad del suelo se calculó basándose en la densidad aparente medida y densidad de las partículas de 2.65 g cm^{-3} .

b) Propiedades biológicas

Las poblaciones de bacteria, hongos y actinomicetos se determinaron utilizando el método de extracción seguido

por dilución en serie y la incubación para cada grupo, de acuerdo con el método descrito por Clark (1965) y Parkinson (1994). La respiración microbiana del suelo se determinó según el método descrito por Stotzky (1965). El carbono biomásico (CBM) y el nitrógeno biomásico (NBM) se determinaron por el método de fumigación-extracción (Vance y Jerkinson 1987 y Brookes *et al.* 1985). El carbono soluble para MBC se determinó por la oxidación de las muestras con dicromato, seguido por absorbancia a 600 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Sadzawka *et al.* 2000). El CBM y NBM se determinaron a partir de la diferencia en el C extraído y N de las muestras fumigadas y no fumigadas. Las poblaciones de nematodos se determinaron por el método de macerado y filtrado descrito por Araya *et al.* (1999).

Análisis de los datos

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, utilizando el software Info Stat 2008. Los datos fueron analizados con la prueba t de "Student" para muestras apareadas e independientes con un error alfa ≤ 0.05 , comparándose las variables entre sistemas ML y SC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo

Los resultados del análisis estadístico para muestras pareadas indicaron que hubo un efecto significativo sobre las propiedades físicas del suelo ML, Tabla 2. La densidad del suelo bajo ML fue de 1.03, 1.31, 1.13 g cm^{-3} , mientras que en el SC fue de 0.77, 0.70, y 0.99 g cm^{-3} para Jayaco, Masipetro Rancho Viejo, respectivamente. La porosidad total del suelo en ML fue de 63.1, 51.3, 56.6% y en SC fue de 71.1, el 73.6, el 62.8%, para las localidades estudiadas, respectivamente. La compactación del suelo se ve afectado por el manejo. Los suelos bajo ML tuvieron mayor compactación con un valor promedio de 1.4 kg cm^{-2} en comparación con 1.2 kg cm^{-2} en SC. Esto evidencia una estrecha relación entre los sistemas de labranza y el grado de compactación del suelo.

La materia orgánica constituye una de las fuentes más importantes de la energía y nutrientes para los microorganismos heterótrofos, favorece la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y promueve el desarrollo microbiano (Smith y Paul 1990). Los sistemas de labranza no mostraron diferencias estadísticas en el contenido de MOS, esto pudiera estar asociado, según Quirós y Herrera *et al.* (2006), a la predominancia de la condición de anaerobiosis en el suelo que hace que las poblaciones y la actividad microbiana sean diferentes a cultivos en secano, debido a la condición de inundación de la mayor parte del tiempo en los agroecosistemas arroceros.

Tabla 1. Descripción de algunas de las características físicas y químicas de los sitios bajo estudio*

Características	Localidades		
	Jayaco	Masipetro	Rancho Viejo
Textura	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa
Densidad aparente (gr cm ⁻³)	0.90	1.00	1.06
pH del suelo	5.3	5.8	7.2
Conductividad eléctrica (CE)	0.15	0.10	0.34
Ca (meq/100 g s)	9.65	9.74	24.00
Mg (meq/100 g s)	6.03	4.01	6.47
K (meq/100 g s)	0.11	0.13	0.12
Na (meq/100 g s)	0.28	0.25	0.43

*Datos obtenidos durante los trabajos de campo.

Tabla 2. Valores promedio de algunas de las características físicas (n = 4)⁶.

Parámetro ⁵	Localidad/Sistemas ³					
	Jayaco		Masipetro		Rancho Viejo	
	ML ¹	SC ²	ML	ST	ML	SC
Porosidad total (%)	63.07 A (1.452)	71.14 B (0.701)	51.29 A (1.446)	73.60 B (1.066)	56.60 A (1.100)	62.76 B (1.832)
Materia orgánica (MO) (%)	3.27 (0.201)	3.01 (0.772)	3.33 (0.277)	3.45 (0.660)	4.59 (0.142)	4.28 (0.208)
Compactación del suelo ⁴ (kg cm ⁻²)	1.4	1.2	1.7	1.2	1.13	0.52

¹ML; mínima labranza, ²SC; sistema convencional, ³valores entre paréntesis corresponden al cuadrado medio del error estándar. ⁴el valor correspondiente a la dureza es el promedio de varias lecturas en los primeros 20 cm del perfil. ⁵letras mayúsculas y diferentes muestran diferencia estadística significativa entre sistemas de labranza para una variable dentro de la localidad a P≤0.05. ⁶Número de muestras para análisis de suelo por sistema

Propiedades biológicas del suelo

Poblaciones de microorganismos.

Los sistemas de labranza mostraron diferencia estadística en la población de bacteria solo en la localidad de Masipetro con 5.33 UFC en SC y 4.51 UFC en ML, así mismo, la población de hongos fue estadísticamente diferente en esa localidad con 3.34 UFC en SC y 2.70 en ML, Tabla 3.

Los sistemas de labranza no mostraron diferencia estadística para la población de actinomicetos, Tabla 3, en tanto que la población de hongos solo mostró diferencia estadística en la localidad de Masipetro con 3.34 y 2.70 UFC en ML y SC, respectivamente. Los datos no muestran una correspondencia con los resultados obtenidos en un mismo sistema entre localidades, posiblemente debido a que la actividad de estos microorganismos son influenciados por características como la textura, el pH, la humedad, la aireación y el contenido y la calidad de MOS, entre otros factores.

Las alteraciones en la biomasa microbiana son parámetros sensibles para el monitoreo de la calidad del suelo

y los cambios positivos se correlacionan con el aumento del contenido de materia orgánica y la fertilidad del suelo. El proceso de descomposición de los residuos orgánicos está influenciada por la actividad microbiana (Boulter *et al.* 2000).

Biomasa del suelo y respiración microbiana.

La respiración basal microbiana del suelo es uno de los parámetros más antiguos y aún el más utilizado para cuantificar la actividad microbiana. Esta se relaciona con la disponibilidad de carbono en la biomasa y es generalmente más elevada en la superficie del suelo debido a una mayor actividad biológica (Saffigna *et al.* 1989). De acuerdo a Anderson (1982), la respiración del suelo corresponde a la producción de CO₂ por el metabolismo de los microorganismos que viven dentro de la matriz del suelo. Los resultados de esta variable muestran que, de manera indistinta, los sistemas de labranza presentan diferencia estadística en las localidades de Jayaco y Masipetro con valores de 6,031.3 y 3,202.4 mgCO₂ kg⁻¹ ss en ML y SC, respectivamente, Tabla 3. En cualquier sistema de labranza la dinámica de los componentes bióticos es afectada por factores

Tabla 3. Valores promedio de poblaciones de microorganismos según sistema de labranza en tres localidades (n = 4)⁶.

Microorganisms ⁴	Localidad/Sistemas ³					
	Jayaco		Masipetro		Rancho Viejo	
	ML ¹	SC ²	ML	ST	ML	SC
Bacteria (UFC) ⁵	4.81 (0.072) ³	5.14 (0.097)	5.33 A (0.131)	4.51 B (0.107)	5.55 (0.206)	5.44 (0.071)
Actinomicetos (UFC)	5.26 (0.102)	5.28 ⁴ (0.049)	5.6 (0.136)	4.98 (0.108)	5.43 (0.15)	5.26 (0.11)
Hongos(UFC)	3.26 (0.138)	3.44 (0.069)	3.34 A (0.054)	2.70 B (0.059)	3.15 (0.178)	3.1 (0.099)
∑ CO ₂ (mgCO ₂ kg ⁻¹ ss)	6031.13 A (2.1)	3202.41 B (4.057)	1337.12 B (1.64)	2986.10 A (5.722)	1324 (3.313)	1158.5 (2.692)
CB (mg kg ⁻¹ ss)	5859.70 A (58.212)	3226.82 B (88.796)	2940 (52.619)	2447.27 (77.738)	3088.28 (52.478)	2617.23 (40.094)
NB (mg kg ⁻¹ ss)	0.012 (0.000)	0.012 (0.000)	0.014 (0.000)	0.012 (0.000)	0.015 (0.000)	0.019 (0.000)

¹ML, mínima labranza, ²SC, sistema convencional, ³valores entre paréntesis corresponden al cuadrado medio del error estándar, ⁴letras mayúsculas y diferentes muestran diferencia estadística entre sistemas de labranza de una localidad a P≤0.05, ⁵UFC; unidades formadoras de colonias. ⁶Número de muestras para análisis de suelo por sistema.

ambientales, tales como: características del suelo, temperatura y formas de manejo de los rastrojos. Además de estos factores, Alvear *et al.* (2006) sostienen que el uso de herbicidas afecta las actividades biológicas del suelo causando inicialmente un desequilibrio en dichas actividades.

La biomasa microbiana forma parte de la fracción orgánica del suelo, es un agente determinante en la descomposición de la materia orgánica y controla la tasa a la cual los nutrientes son transformados para quedar disponibles o ser absorbidos por el cultivo (Castro 1995; Uribe 1999). El CBM del suelo está relacionado con la actividad biológica expresada en la respiración microbiana. Los contenidos de CBM fueron superior en el sistema de ML; sin embargo, estadísticamente solo se encontró diferencia entre sistema en la localidad de Jayaco, con 5859.7 y 3226.8 mg kg⁻¹ ss en ML y SC, respectivamente, Tabla 3. La biomasa microbiana (BM) es una fracción del la MOS que puede afectar significativamente la fertilidad del mismo, controla la mineralización de la MOS y la tasa de liberación de N, constituye a la vez una fuente y sumidero de éste y otros nutrientes (Fornasier *et al.* 2002).

Los resultados obtenidos referidos a NB para la localidad de Jayaco no muestran diferencia estadística entre ML y SC, a pesar de mostrar diferencias estadísticas para la respiración microbiana del suelo y el CBM, que supone mayor actividad microbiana; sin embargo, esta actividad microbiana no se corresponde con los valores de NB encontrados en los sistemas de labranzas. Esto podría deberse a que NB se considera una medida momentánea que puede variar en respuesta a las condiciones de suelos húmedos, característicos del régimen de riego en el cultivo de arroz inundado, entre otros, Bertsh (2003).

Comportamiento de las poblaciones microbianas en incubación.

Las poblaciones microbianas del suelo referidas a hongos, bacterias y actinomicetos, mostraron valores diferenciados de unidades formadoras de colonias (UFC) entre los sistemas de labranza durante el período de incubación. Para la estimación del comportamiento de la población microbiana en función del tiempo se generó una curva de regresión. Los resultados indican que la población microbiana en ML se produce un incremento de un 67% durante los diez días de incubación, si comparan los valores entre el primero y décimo día de incubación en la Figura 1, cuyos valores fueron de 7.0 y 18.0 UFC/g, respectivamente, generando una curva de regresión $y = 0.629x^2 - 0.939x + 7.348$ y con un coeficiente de determinación (R^2) = 0.948. En tanto que la curva de regresión en SC fue $y = 0.279x^2 - 1.471x + 16.34$, mostrando un bajo coeficiente de determinación, $R^2 = 0.150$.

En la Figura 1, se nota que inicialmente las poblaciones microbianas del suelo en el SC fueron de 15 UFC/g, lo que supera en un 65% a ML con 7 UFC/g, Esto pudiera estar relacionado a la condición de compactación y/o densidad del suelo registrada en ML (1.03 g cm⁻³) y SC (0.77 g cm⁻³), lo que disminuye la cantidad de oxígeno a ser suplido para la actividad microbiana. Esta limitación se acentúa más cuando los suelos son sometidos a ciclos sucesivos sin realizar labranza, como es el caso que se estudia (9 años). El rápido incremento en las poblaciones de microbianas del suelo en ML pudiera estar asociado a la capacidad de resiliencia si fuese sometido a labranza cada cierto período de tiempo.

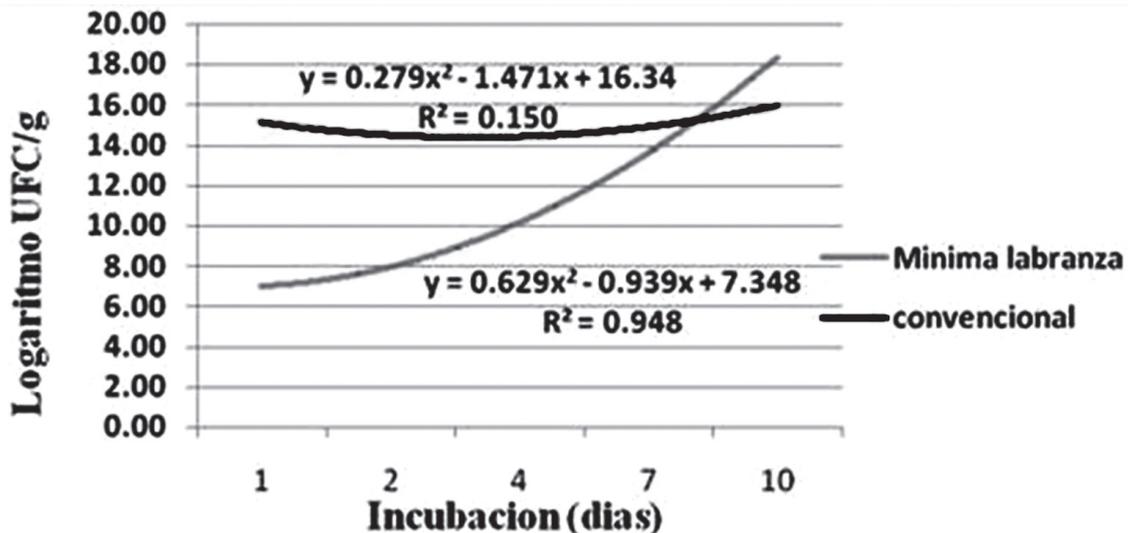


Figura 1. Población de microorganismos durante el período de incubación

Población de nematodos

Los nematodos son organismos invertebrados evolutivamente exitosos, diversos y abundantes en sistemas acuáticos y edáficos, especialmente en aquellos que proveen fuentes de carbono orgánico y nitrógeno (Sánchez *et al.* 2002). Los resultados de laboratorio determinaron la presencia de varios géneros y grupos de nematodos, según se muestra en el Tabla 4. Los géneros y grupos con poblaciones de importancia encontrados fueron: el género *Dorylaimida*, perteneciente al grupo de los omnívoros, con una población promedio por muestra de 107, en el sistema de ML y 80 nematodos en el SC, el orden *Rhabditida*, perteneciente al grupo de los bacterívoros, con una población de 61 nematodos en ML y de 60 en el SC. También, se determinó la presencia del género *Meloidogyne*, perteneciente al grupo de los fitoparásitos, cuya población media fue de 22 nematodos en ML y 102 en SC. El género *Hirschmaniella* es considerado también dentro del grupo de los fitoparásitos, registrándose en promedio un nematodo en mínima labranza y 14 en SC. Las mayores poblaciones del género *Meloidogyne* se encontraron en el sistema convencional. La misma tendencia se encontró con relación al género

Hirschmaniella, aunque con valores promedio más bajo, esto demuestra el efecto del sistema de labranza sobre las poblaciones de nematodos.

De acuerdo a los promedios de las poblaciones en los sistemas de labranza el orden *Dorylaimida* mostró una tendencia al incremento de la población en el sistema de ML con respecto al SC, Tabla 4. Este orden es considerado un bioindicador de las condiciones de suelo. Leguizamo (2006) reportó que el porcentaje de *Dorylaimida* en hábitat natural fue mayor que en el cultivado. En este sentido Bongers (1999) sostiene que estos individuos presentan bajas propiedades adaptativas y son los primeros en desaparecer bajo condiciones de disturbio.

La población del orden *Rhabditida* fue igual en ambos sistemas, y esto pudiera ser explicado por la capacidad de adaptación a diferentes condiciones y procesos de perturbación del suelo mediante sus estructuras de supervivencias. En este mismo orden, las poblaciones más altas del género *Hirschmaniella* se encontraron en el SC, con 14 nematodos por muestra, Tabla 4.

Tabla 4. Valores promedio de nematodos entre sistemas de labranza (n=4).

Género/orden	Grupos	ML ¹	Promedio /M	SC ²	Promedio/M
<i>Dorylaimida</i>	Omnívoro	426 (3.749) ³	107	319 (4.343)	80
<i>Meloidogyne</i>	Parásito plantas	87 (0.540)	22	409 (4.618)	102
<i>Rhabditida</i>	Bacterívoros	242 (4.976)	61	238 (2.019)	60
<i>Araeolaimida</i>	Bacterívoros	7 (0.125)	2	22 (0.000)	6
<i>Alaimida</i>	Bacterívoro	3 (0.144)	1	3 (0.250)	1
<i>Aphelenchida</i>	Fungiphorus	5 (0.000)	1	7 (0.125)	2
<i>Helicotylenchus</i>	Parásito plantas	14 (0.000)	4	10 (0.239)	3
<i>Monhysterida</i>	Bacterívoros	8 (0.250)	2	14 (0.125)	4
<i>Mononchida</i>	Predator	1 (0.000)	0	5 (0.125)	1
<i>Pratylenchus</i>	Parásito plantas	0 (0.000)	0	1 (0.000)	0
<i>Tylenchus</i>	Vive en las plantas	1 (0.000)	0	1 (0.000)	0
<i>Criconema</i>	Parasito plantas	6 (0.489)	2	3 (0.250)	1
<i>Hirschmaniella</i>	Parásito plantas	1(0.000)	0	55 (0.713)	14

¹ML; sistema de mínima labranza, ²SC; sistema convencional. M, muestra. ³valores entre paréntesis corresponden al cuadrado medio del error estándar.

De acuerdo al análisis estadístico aplicado a las poblaciones de nematodos, basado en la prueba de t para muestras apareadas, se encontró que el género *Meloidogyne* mostró diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza a una probabilidad $>$ que $t = 0.0007$ y $<$ que $\alpha = 0.05$, con un valor promedio de 28.33 nematodos para el SC y de 5.58 para la ML en la localidad de Rancho Viejo. El género *Hirschmaniella* mostró diferencia estadística significativa entre los sistemas a un $p = 0.0063$, con promedio de 3.92 para el sistema convencional y 0.08 para mínima labranza, en la localidad de Rancho Viejo.

CONCLUSIONES

Las propiedades físicas del suelo, tales como la densidad aparente, compactación y la porosidad fueron influenciadas negativamente por el sistema de labranza. Los suelos bajo ML mostraron niveles más altos de compactación y, por tanto, una reducción de la porosidad, lo que afecta la respiración total de los microorganismos.

El sistema de mínima labranza afecta la respiración microbiana del suelo y la presencia de nematodos, siendo el más afectado el género *Meloidogyne*. Los órdenes de nematodos de mayor presencia fueron: *Dorylaimida* (omnívoros), *Rhabditida* (bacterívoros) y los géneros *Meloidogyne* e *Hirschmaniella* (fitoparásitos). El orden *Rhabditida* se encontró en ambos sistemas y el género *Meloidogyne* sólo en el SC.

LITERATURA CITADA

Alvear, M.; López, R.; Rosa, A.; Espinosa, N. 2006. Herbicides application on field conditions on some biological activities. R.C. Suelo nutrición vegetal 6(1): 64-76.

Anderson, J. 1982. Soil respiration. In: Page, A.L. ed. Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. The American Society of Agronomy (ASA). Agronomy 19. Academic Press, Inc. New York, NY. Pp. 831-866.

Araya M. 1999. Metodología usada en el laboratorio de nematología de Corbana S.A. para la extracción de nematodos de las raíces del banano (*Musa Sp AAA*). San José, CR. 16p.

Arshad, M.; Lowery, B.; Grossman, B. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In: J.W.Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America (SSSA). Madison, WI, USA. Pp.123-142

Bertsh, F. 2003. Abonos orgánicos, manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo. In: Meléndez G.; Molina E. (eds). Fertilizantes: características y manejo. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José, CR. Pp. 117-135.

Bongers, T. 1999. The maturity index: the evolution of nematode, life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. Plant and Soil 212: 13-22.

Boulter, J.; Boland, G.; Trevors, J. 2000. Compost: a study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. World Journal of Microbiology and Biotechnology 16: 115-134.

Brookes, P.; Landman, A.; Pruden, G.; Jenkinson, D. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in Soil. Soil Biology and Biochemistry 17: 837-842.

Carter, M.; Gregorich, E.; Angers, R.; Donald, R.; Bolinder, M. 1998. Organic C and N storage, and Organic C fractions, in adjacent cultivated and forested soils of eastern Canada. Soil Till. Res. 47:253-261.

Carter, M.; Gregorich, E.; Anderson, D.; Doran, J.; Janzen, H.; Pierce, F. 1997. Concepts of soil quality and their significance. Chapter 1. In: Gregorich, E.G. & Carter, M.R. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Elsevier. Developments in Soil Science 25: 1-19.

Castro, L. 1995. Efecto del uso agrícola y el barbecho sobre los contenidos de biomasa microbiana de ultisoles y andisoles de Costa Rica. Agronomía Costarricense 19(2):59-65.

Clark, F. 1965. Agar-Plate Method for total microbial count Part 2. Chemical and microbiological properties. (D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E., Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1460-1466. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Díaz, F. 2004. Selection of substrates for vegetable production in greenhouse. Proceedings of the Fourth National Symposium on Horticulture. Greenhouses: Design, production management and Torreon, Coahuila, Mexico, October 13, 14 and 15, 2004.

Doran, J.; Smith, M. 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. 53-782. In: R.F. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. ASA Spec. Publ. 19. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin. USA.

Fontagro (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria, US). 2008. Implementation of technological strategies for the management and improvement of quality and soil health banana in Dominican Republic. Turrialba, CR. 36 p.

Fornasier, F.; Mondini, C.; Leita, L. 2002. Dynamics of soil microbial biomass and organic matter quality following addition of pig slurries. In: J. Venglovsk and G. Gréserová. eds. Recyclin of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agricultural. Proceedings of the 19th International Council of the Ramiran Network. Pp. 473-476.

Forsythe, W. 1985. Manual soil physics laboratory. 1st. Edition. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, CR. 39 p.

Gregorich, E.; Carter, M.; Angers, D.; Monreal, C.; Ellert, B. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. Canadian J. of Soil Science 74: 367-386.

InfoStat. 2008. User's Manual. InfoStat Group, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. First Edition, Editorial Brujas. Córdoba, AR.

Leguizamó, M. 2006. Nematodos de vida libre en suelos de cultivo de papa, pasturas y bosque alto andino en la vereda Páramo de Guerrero (Zipaquirá, Cundinamarca). Tesis Magíster en Ciencias Agrarias, Área Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía e Ingeniería Agronómica, Bogotá, CO. 160 p.

Parkinson, D. 1994. Filamentous fungi. In: Weaver RW, Angle S, Bottomly P, Bezdicke D, Smith S (eds) Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, USA. Pp. 329-335.

Quirós, R.; Ramírez, C. 2006. Rastrojos y nitrógeno de la biomasa microbiana. Agronomía mesoamericana 17(2): 167-178.

Roldán, A.; Caravaca, F.; Hernández, M.; García, C.; Sánchez-Brito, C.; Velásquez, M. 2003. No-Tillage, Crop Residue Additions, and Legume Cover Cropping Effects on Soil Quality Characteristics Under Maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). Soil and Tillage Research. 1786: 1-9.

Sadzawka, A.; Grez, Z.; Mora, M.; Saavedra, R.; Carrasco, C.; Rojas, W. 2000. Recommended analytical methods for the Chilean soils. Standards and Accreditation Commission (CNA), Chilean Society of Soil Science. 63 p. (En Línea). Revisado el 15 diciembre 2007. Disponible en: <http://alerce.inia.cl/docs/presentaciones/Doc002ASR.pdf>. Accessed December 2007.

Saffigna, P.; Powelson, D.; Brookes, P.; Thomas, G. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biology and Biochemistry* 21:759-765.

Sánchez, S.; Camargo, J.; Navas, A. 2002. Nematodos edáficos como indicadores ecológicos del proceso de restauración de la ribera del Río Guadamar (Huelva, España). Departamento Interuniversitario de Ecología, Universidad de Alcalá. Madrid, ES. 230 p.

Smith, L.; Paul, E. 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. In: Bollag, J.M.; Stotzky, G. (Ed.). *Soil biochemistry* 6: 357-396.

Stotzky, G. 1965. Microbial respiration Part 2. Chemical and microbiological properties. (D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E., Clark, eds.), Vol. 9, pp. 1550-1572. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Uribe, L. 1999. Uso de indicadores microbiológicos de suelos: ventajas y limitaciones. In: Bertsch et al. ed. *Memoria XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*, Vol. 3, Recursos Naturales y Producción Animal. San José, CR. Pp. 39-46.

Vance, F.; Jerkinson, D. 1987. Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 697-702.