

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA BAJO DIFERENTES MANEJOS EN LA ZONA DE QUÍBOR, ESTADO LARA

Margareth Jaurixje¹, Duilio Torres¹, Betty Mendoza¹, Manuel Henríquez¹ y Jorge Contreras¹

RESUMEN

Para determinar el impacto de los sistemas de manejo del suelo (SMS) sobre la calidad del mismo se evaluaron variables físicas y químicas en fincas con cebolla, pasto, aguacate, ají dulce, barbecho y bosque, y se relacionaron con el comportamiento biológico del suelo. El estudio se llevó a cabo en la serie Chaimare, municipio Jiménez del estado Lara. En cada SMS se tomaron muestras a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) y se determinaron variables físicas (densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica), químicas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo y potasio) y biológicas del suelo (respiración basal y biomasa microbiana). Los mayores valores de respiración basal y biomasa microbiana se encontraron en suelos donde el tipo de manejo contempló enmiendas orgánicas o cuando los suelos estaban sin ningún tipo de manejo agrícola o en barbecho. Los menores valores correspondieron a suelos donde el tipo de manejo fue convencional, como pases de maquinaria agrícola y fertilizaciones químicas. La biomasa microbiana se correlacionó con la conductividad hidráulica y los macroporos, lo cual demuestra que el mejoramiento en las condiciones físicas del suelo, se traduce en una mayor actividad biológica de los microorganismos.

Palabras clave adicionales: Manejo de suelos, respiración basal, biomasa microbiana

ABSTRACT

Physical and chemical soil properties and their relation with biological activity under different soil managements in Quibor, Lara State, Venezuela

To evaluate the impact of soil management systems (SMS) on the soil quality, some physical and chemical variables were characterized in farms of onion, bermudagrass, avocado, sweet pepper, fallow and forest, and related to the soil biological behavior. The study was carried out on the Chaimare soil series, in Jimenez Municipality, Lara State. Soil samples at two depths (0-10 and 10-20 cm) were collected, and the physical (bulk density, porosity and hydraulic conductivity), chemical (pH, electrical conductivity, organic matter, phosphorus and potassium) and biological (basal respiration and microbial biomass) variables were evaluated. The highest basal respiration and microbial biomass were found on soils whose management included organic amendments or when the soils were under no cultivation or fallow. The lowest values were found under conventional tilling (agrimachinery passes and chemical fertilizer applications). Microbial biomass was correlated with the hydraulic conductivity and macropores, which demonstrates that the improvement in the physical soil condition, resulted in a higher biological activity of the microorganisms.

Additional key words: Soil management, basal respiration, microbial biomass

INTRODUCCION

Los sistemas agrícolas tradicionales a nivel mundial se han caracterizado por el manejo intensivo de la tierra, principalmente en las explotaciones hortícolas, lo que conlleva al deterioro de la calidad del suelo. El deterioro se manifiesta en problemas físicos y químicos, lo cual repercute sobre la actividad biológica ya que

los microorganismos son sensibles a los cambios de calidad del suelo (Torres et al., 2006; Medina, et al., 2011).

Consentino y Constantini (2000) demostraron que las variables biológicas son mejores que las variables químicas como indicadoras de calidad del suelo, ya que son más sensibles en la identificación de cambios en diferentes manejos de cultivos. La biomasa microbiana es usada para

Recibido: Marzo 4, 2012

Aceptado: Enero 15, 2013

¹ Dpto. Química y Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: duiliootr@ucla.edu.ve; hemanuel@ucla.edu.ve; jcontreras@ucla.edu.ve; bmendoza@ucla.edu.ve

medir parte del carbono orgánico contenido en el suelo, siendo ésta una medida indirecta de la cantidad de microorganismos existentes, la cual, a su vez, permite reconocer los cambios ocurridos en el ambiente edáfico. El carbono de la biomasa microbiana resulta ser un indicador del impacto de sistemas de cultivo altamente intensivos sobre los niveles y calidad de la materia orgánica del suelo (Zamora et al., 2005; Martínez et al., 2008).

En Quíbor, una de las principales zonas productoras de hortalizas de Venezuela, se ha encontrado una serie de problemas, entre ellos el deterioro del suelo, destacando la disminución de su fertilidad y de la actividad biológica (Mogollón et al., 2010). Es por ello que, la presente investigación tuvo como propósito evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas, así como el impacto de las mismas sobre la respiración basal y biomasa microbiana de los suelos cultivados bajo diferentes intensidades en la referida zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se seleccionó la serie Chaimare (SHYQ-UCLA, 2006) localizada en la depresión de Quíbor (9°55' N, 69°34' W, 700 msnm), municipio Jiménez del estado Lara, con precipitación de 400 a 500 mm anuales y temperatura media de 25,5 °C. El suelo corresponde a una napa de desborde, de topografía plana con pendiente general de 0,5 % y microrelieve liso. Delgado et al. (2011) indican que la serie posee suelos de textura variable (franco-limosos, francos y franco-arcillosos); el color varía muy poco y es normalmente marrón a marrón oscuro en el horizonte superficial y marrón amarillento en el resto del perfil. La estructura es uniformemente blocosa muy débil, con tendencia a masiva.

Se ubicaron los SMS más representativos en fincas de productores y se conformaron dos grupos de acuerdo a la clase textural. Un primer grupo denominado franco, constituido por los SMS de aguacate (*Persea americana* Mill.), pasto bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) y cebolla (*Allium cepa* L.), y un segundo grupo denominado arcilloso, conformado por los SMS de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.), bosque, barbecho. Dentro de la serie se procuró seleccionar usos con diferentes intensidades de manejo, teniendo a la cebolla y el ají dulce como un SMS de alta

intensidad, el pasto y el barbecho como de media intensidad, y el aguacate y el bosque como de baja intensidad. Estas tres intensidades de uso quedaron representados en cada clase textural (Cuadro 1).

Se implementó un diseño completamente aleatorizado. Se tomó como variable de clasificación el SMS y dentro de cada unidad se tomaron muestras a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) en cinco repeticiones. Un grupo de éstas correspondió a muestras no alteradas para determinar las variables físicas de densidad aparente (Da), espacio poroso total (EPT), distribución de tamaño de poros (macroporos con $r \geq 15 \mu\text{m}$, y microporos con $r < 15 \mu\text{m}$) y conductividad hidráulica (Ks), siguiendo la metodología descrita por Pla (1983). Así mismo, se determinó la textura por el método de Bouyoucos.

Las variables químicas y biológicas fueron determinadas a partir de muestras disturbadas. El pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de macronutrientes (N, P y K) siguiendo metodología de rutina en el laboratorio de suelos del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. El carbono orgánico por el método de Walkley-Black, la respiración basal mediante el método descrito por Alef y Nannipieri (1995), y la biomasa microbiana por el método de respiración inducida del sustrato (Anderson y Domsch, 1978).

Se realizó un análisis de varianza y prueba de Tukey para determinar el impacto de los SMS sobre las propiedades de los suelos evaluados usando el programa Infostat (versión 1.1). Los sistemas de manejo fueron comparados entre sí para cada profundidad de manera independiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas

Suelos de textura franca. Como consecuencia del sistema de manejo, se detectaron diferencias significativas para las variables de Da, Ks, EPT, macro y microporosidad, (Cuadro 2). El SMS-cebolla fue el sistema que presentó los valores más altos, lo cual sugiere que la excesiva mecanización del suelo ha conllevado a problemas de compactación. Blanco et al. (2004) encontraron que la densidad aparente se incrementa por el uso intensivo de maquinaria agrícola, y observaron mayor compactación en los sistemas bajo labranza

convencional que en los de mínima labranza.

Los valores más bajos de Da en SMS-pasto y SMS-aguacate con respecto al SMS-cebolla pueden ser atribuidos al efecto del pasto sobre las propiedades físicas del suelo (Wilson et al., 2000), mientras que en el caso del SMS-aguacate el tiempo de descanso habría contribuido a recuperar

las propiedades físicas del mismo. Este comportamiento fue similar para ambas profundidades. Los resultados coinciden con los reportados por Mendoza (2010) y Henríquez et al. (2012) quienes señalaron que la no labranza y el tiempo de descanso ayudan a reducir la Da y a mejorar las propiedades físicas del suelo.

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo ubicados en la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función del grupo textural y el sistema de manejo del suelo (SMS)

Grupo textural	SMS	Ubicación	Manejo
Franco	Alto (cebolla)	Finca El Nono	Caracterizado por un manejo intensivo de la tierra con mecanización convencional, fertilización química, uso de plaguicidas y riego en serpentín
	Medio (pasto bermuda)	Finca La Guadalupana	Pasto para corte en suelo con más de tres años de descanso. Tradicionalmente sembrado con cebolla, lechosa y cilantro bajo manejo convencional (fertilización, riego por surcos, uso de plaguicidas)
	Bajo (aguacate)	Finca La Guadalupana	Sin aplicación de fertilizantes ni otro manejo hortícola. Plantas con más de 20 años de edad
Arcilloso	Alto (ají dulce)	Finca El Pueblito	Preparación de tierra convencional. Siembra en surcos, fertilización orgánica con gallinaza y fertilización química
	Medio (barbecho)	Est. Exp. INIA	Anteriormente sembrado con pasto. Luego se preparó la tierra con un pase de arado y se dejó en descanso por más de 2 años
	Bajo (bosque)	Est. Exp. INIA	Suelo virgen con vegetación natural. Se usó como referencia para comparar con los sistemas convencionales

Los valores más bajos de Ks se detectaron en los sistemas sometidos a alta o mediana mecanización (cebolla y pasto), mientras que se observaron valores de Ks significativamente más altos en SMS de baja intensidad (aguacate) en el estrato superficial (Cuadro 2); estas marcadas diferencias si bien reflejan los cambios en la calidad del suelo producto del sistema de manejo, pudieron también estar influenciadas por la alta variabilidad que presenta esta variable en su determinación (Johnston et al., 2009).

Los valores menores de macroporos se hallaron en aquellos SMS donde los atributos físicos del suelo fueron afectados por la excesiva mecanización, tal el caso del SMS-cebolla bajo manejo convencional en sus dos profundidades, donde los valores estuvieron cercanos al límite crítico de 10 % (Florentino, 1998), mientras que en los SMS bajo descanso (aguacate) los valores de macroporos fueron mayores (Cuadro 2). Ramírez et al. (2006) reportaron que en suelos con menos de 10 % de macroporos se afecta la actividad biológica.

Cuadro 2. Variables físicas en suelos con textura franca de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (cebolla)		Medio (pasto)		Bajo (aguacate)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Da (Mg·m ⁻³)	1,43 b	1,43 b	1,35 a	1,33 a	1,32 a	1,34 a
Ks (cm·h ⁻¹)	0,44 a	0,06 a	0,10 a	0,40 a	1,88 b	0,44 a
EPT (%)	44,6 a	48,1 a	48,5 b	52,6 b	51,5 b	49,8 a
Macroporos (%)	11,5 a	12,3 a	13,3 b	14,7 b	13,2 b	14,9 b
Microporos (%)	33,1 a	35,8 a	35,2 a	37,9 b	38,3 b	34,9 a

Da = densidad aparente; Ks = conductividad hidráulica; EPT= espacio poroso total. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey (P≤0,05)

En la primera profundidad el porcentaje de microporos fue mayor en el SMS-aguacate en comparación a los SMS de cebolla y pasto (Cuadro 2), mientras que para la segunda profundidad la cantidad de microporos fue significativamente mayor en el SMS-pasto, debido posiblemente a la presencia de una capa compactada después del horizonte superficial, producto del manejo convencional dado al suelo. Si bien los sistemas como el pasto pueden contribuir a mejorar las condiciones físicas, Torres et al. (2006) y Rodríguez et al. (2009) destacan que el mejoramiento de estas condiciones ocurre principalmente en la capa superficial del suelo.

Suelos de textura arcillosa. En los suelos de textura arcillosa (Cuadro 3) los valores de Da en la primera profundidad se encuentran dentro del rango de no limitante para su grupo textural (Florentino, 1998). En la segunda profundidad los valores más bajos encontrados en el suelo bajo barbecho y el SMS-ají dulce podrían atribuirse al tiempo de descanso del primero y a la constante aplicación de materia orgánica en el segundo caso. En general, se aprecia que la Da en los suelos arcillosos fue menor que en los suelos francos, lo cual se explica por la mayor porosidad total que usualmente existe en los suelos arcillosos (Hillel, 1998).

Cuadro 3. Variables físicas en suelos con textura arcillosa de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (ají dulce)		Medio (barbecho)		Bajo (bosque)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Da ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1,27 a	1,28 a	1,24 a	1,21 a	1,29 a	1,46 b
Ks ($\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$)	0,71 b	0,28 a	0,38 a	0,11 a	0,65 b	0,34 a
EPT (%)	53,3 b	55,8 b	48,0 a	47,8 a	53,1 b	49,0 b
Macroporos (%)	12,5 a	15,8 b	14,7 a	14,5 b	12,7 a	8,4 a
Microporos (%)	40,8 a	40,0 a	33,3 a	33,3 a	40,4 a	40,6 a

Da = densidad aparente; Ks = conductividad hidráulica; EPT= espacio poroso total. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

La Ks fue más alta en aquellos suelos con menor Da (bosque y ají dulce), aunque no ocurrió lo mismo para el suelo en barbecho (Cuadro 2). Abassi y Rasool (2005) encontraron alta Ks en sistemas de producción con incorporación de materia orgánica con estiércol y en pastizales y concluyeron que la calidad del suelo decrece con los incrementos en Da, la cual a su vez está asociada con disminución en la macroporosidad, así como en los parámetros asociados al flujo de agua en el suelo. Se observa que la Ks tendió a ser menor en los SMS con textura arcillosa. En el caso del suelo con ají dulce su mayor Ks se atribuye a la incorporación de materia orgánica con gallinaza, que habría mejorado las condiciones físicas de este suelo arcilloso aumentando así la porosidad (Ohep et al., 2002). En el bosque la alta Ks se atribuye a las propiedades naturales del suelo, el cual mantiene las condiciones físicas sin alterar. En general, los diferentes SMS tuvieron poco efecto sobre la distribución de la macro y microporosidad (Cuadro 3).

Propiedades químicas

Suelos de textura franca. La CE fue mayor en el SMS-pasto, seguido de los SMS de aguacate y cebolla, los cuales presentaron valores estadísticamente similares entre sí (Cuadro 4). Se estima que en el SMS-pasto el uso excesivo de fertilizantes en los manejos previos pudo conllevar a los incrementos de la salinidad del suelo. En tal sentido, Torres et al. (2009) reportan valores de CE superiores a $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en estos mismos suelos.

Con respecto al pH se observaron valores superiores a 7,5 en los suelos con aguacate y pasto, con tendencia similar en las dos profundidades estudiadas. Estos valores son típicos en las zonas semiáridas venezolanas, donde las escasas precipitaciones y alta tasa de evapotranspiración hacen que exista poco lavado, por lo cual las bases cambiables del suelo (especialmente los que forman sales de carbonatos y sulfatos) se acumulen superficialmente y originen valores altos de pH (Zamora et al., 2005).

El pH más bajo encontrado en el suelo cultivado con cebolla pudiera estar relacionado con el uso de fertilizantes de fuentes amoniacales y urea.

El contenido de materia orgánica (MO) fue la variable más afectada por el tipo de SMS (Cuadro

4). El SMS-aguacate presentó los valores más altos de MO, seguido de los SMS-pasto y cebolla, respectivamente. La tendencia se mantuvo en ambas profundidades, aunque los mayores valores correspondieron al primer estrato.

Cuadro 4. Variables químicas en suelos con textura franca de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (cebolla)		Medio (pasto)		Bajo (aguacate)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CE (dS·m ⁻¹)	0,98 a	1,04 a	3,88 b	1,96 b	0,77 a	1,16 a
pH	7,41 a	7,45 a	7,68 b	7,74 b	7,73 b	7,75 b
MO (g·kg ⁻¹)	10,7 a	10,2 a	12,0 a	10,0 a	20,0 b	16,2 b
P (mg·kg ⁻¹)	26,7 b	26,8 b	35,0 b	24,6 b	1,8 a	1,0 a
K (mg·kg ⁻¹)	171,4 b	199,2 b	93,2 a	166,4 b	57,2 a	37,3 a

CE = conductividad eléctrica; MO = materia orgánica. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Estos resultados evidencian que el constante aporte de residuos de hojarasca en el aguacate durante más de 20 años conllevó a una importante acumulación de MO en el suelo, mientras que en los SMS-pasto y cebolla el manejo convencional, caracterizado por la excesiva mecanización y extracción de los nutrientes orgánicos, contribuyó a la disminución de la reservas de carbono orgánico del suelo, inclusive en el SMS-pasto, donde se esperaba un mejoramiento en los niveles de MO. Sin embargo, el corto tiempo de establecimiento del pasto (seis meses) no habría sido suficiente para alcanzar cambios positivos en los niveles de MO. Henríquez et al. (2012) señalan que las consecuencias de los cultivos anteriores todavía pueden prevalecer, por lo que se requiere mayor tiempo para su recuperación. Asimismo, Hunt et al. (1996) encontraron mermas importantes en los contenidos de materia orgánica en los sistemas agrícolas convencionales. Este comportamiento fue similar para el resto de las variables evaluadas.

El contenido de nutrientes del suelo fue afectado según el tipo de sistema de producción agrícola (Cuadro 4). El fósforo en el pasto fue el que presentó los valores más altos, seguido por la cebolla, mientras que el valor más bajo fue encontrado en el aguacate debido a que en dicho SMS no se realizó fertilización. Esta tendencia se mantuvo para ambas profundidades. La intervención antrópica en los SMS de pasto y

cebolla mejoró las condiciones nutricionales del suelo dada las altas dosis de fertilizante químico aplicado. Similarmente, Daza et al. (2006) encontraron que la fertilización orgánica y química incrementó significativamente los contenidos de fósforo disponible en suelos de las llanuras colombianas y este incremento puede permanecer hasta el momento de la cosecha.

El contenido de potasio fue otro de los nutrientes que varió dependiendo del SMS, encontrándose los valores más bajos en aguacate y pasto, tendencia que se mantuvo para ambas profundidades. La disminución de los niveles de K se asocia con la textura del suelo, con predominio de partículas gruesas, donde el nutriente tiende a perderse por lixiviación. No ocurrió lo mismo en el caso de la cebolla, probablemente producto de las altas dosis de fertilizantes potásicos aplicados. Zamudio et al. (2007) señalan que la concentración de K en los suelos livianos disminuye con rapidez, debido a la baja capacidad de amortiguamiento de estos suelos.

Suelos de textura arcillosa. El menor valor de pH se encontró para ambas profundidades en el suelo bajo barbecho (Cuadro 5). Por su parte, la CE en estos suelos de textura arcillosa tendió a ser considerablemente más baja que en los SMS ubicados en textura franca, lo cual fue contrario a lo esperado dado la menor tasa de lavado que existe en los suelos arcillosos. No obstante, el suelo con ají dulce presentó valores mayores,

atribuido a que fue el único SMS donde se aplicó fertilización con gallinaza la cual pudo haber incrementado la salinidad del suelo. En tal sentido,

Matheus et al. (2007) y Torres et al. (2009) encontraron que los valores de CE tienden a ser mayores en los cultivos bajo fertilización orgánica.

Cuadro 5. Variables químicas en suelos con textura arcillosa de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (ají dulce)		Medio (barbecho)		Bajo (bosque)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	0-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CE (dS·m ⁻¹)	1,88 b	0,31 a	0,35 a	0,34 a	0,23 a	0,25 a
pH	7,72 b	7,66 b	7,52 a	7,50 a	7,65 b	7,63 b
MO (g·kg ⁻¹)	38,9 a	26,3 a	56,7 b	48,2 b	37,3 a	28,2 a
P (mg·kg ⁻¹)	67,8 b	85,4 b	42,0 a	38,0 a	79,7 b	64,0 b
K(mg·kg ⁻¹)	614,4 b	97,9 a	290,0 a	285,0 b	211,3 a	208,0 a

CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

En los suelos con SMS bajo descanso o aplicaciones de materia orgánica se encontraron incrementos en los niveles de MO, siendo significativamente más altos en el suelo en barbecho, seguido de los SMS-ají dulce y bosque, con tendencias similares en ambas profundidades. Aunque en el bosque los valores de MO superan a los comúnmente encontrados en zonas áridas, fueron inferiores a los de los suelos con ají dulce y en barbecho. En este sentido, Gallardo et al. (2009) señalan que mientras los ecosistemas están más cercanos al ecuador acumulan más carbono en la biomasa vegetal con la excepción de aquellas regiones donde la lluvia es escasa, característica típica de la zona de Quíbor donde se realizó este estudio. El incremento de la materia orgánica en el suelo en barbecho se asocia con la incorporación de restos vegetales de las especies de maleza que allí se desarrollaron y que luego fueron incorporadas al suelo al momento de la labranza, mientras que en el SMS-Ají dulce, el incremento de la MO se atribuye al aporte constante de fertilización orgánica con gallinaza.

Los SMS de ají dulce y bosque presentaron los valores más altos de nutrientes, seguidos por el suelo en barbecho. Esta tendencia se mantuvo para ambas profundidades. Los valores de P reportados para el bosque fueron más altos a los esperados para una zona árida, aunque coinciden con los reportados por Torres et al. (2009), quienes encontraron altos niveles de P en zonas áridas con intervención antrópica en el estado Lara.

El suelo con ají dulce presentó el valor más alto de K, mientras que los valores más bajos

fueron encontrados en el suelo en barbecho y bosque, respectivamente. En general, el contenido de potasio del suelo es alto en esta clase textural debido a su característica arcillosa (Ramírez et al., 1999), la cual favorece la retención del potasio y no permite que se pierda fácilmente por lavado (Arias et al., 2010). Así mismo, el incremento de los valores de K en el SMS-ají dulce puede deberse a la fertilización orgánica con gallinaza. En tal sentido, Matheus et al. (2007) encontraron incrementos de potasio en suelos con alto contenido de arcillas y fertilización orgánica.

Propiedades biológicas

Suelos de textura franca. Los valores más altos de respiración basal (RB) correspondieron al SMS-aguacate, seguido por los SMS de cebolla y pasto (Cuadro 6). En el suelo con aguacate los altos valores de respiración pueden deberse al mejoramiento en las condiciones físicas del suelo y al aporte de materia orgánica de las raíces y de la hojarasca del cultivo, los cuales contribuirían al incremento de la actividad biológica en el suelo, puesto que proveen un sustrato orgánico, nutrientes y energía a los microorganismos, favoreciendo su actividad (Koné et al., 2008). Por otro lado, diversos investigadores indican que la respiración aumenta cuando los suelos están en condición de descanso (Torres et al., 2009; Mendoza et al., 2012), mientras que Zagal y Córdova (2005) al estudiar indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo, señalaron que las rotaciones de SMS más intensos, alcanzaron los mayores valores de RB.

Cuadro 6. Variables biológicas en suelos con textura franca de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (cebolla)		Medio (pasto)		Bajo (aguacate)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
RB ($\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$)	12,84 b	12,2 b	10,6 a	11,0 a	13,6 b	15,8 c
C-Bm ($\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}$)	187 b	166 a	162 a	168 a	194 b	186 b

RB= respiración basal; C-Bm= carbono de la biomasa microbiana. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

En general, la RB en los suelos evaluados varió entre 10,6 y 16,4 $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$. Estos valores se acercan a los reportados por García y Hernández (1996), quienes obtuvieron entre 12,9 y 28,6 $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$ en un suelo altamente erosionado. Balota et al. (2004) encontraron entre 5,1 y 10,2 $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$ en un suelo bajo diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos, mientras que Armado et al. (2009) mostraron en suelos cacaoteros de Venezuela, valores entre 2 y 8 $\text{mg C-CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio son bajos si se consideran los encontrados por Plaza et al. (2004), quienes hallaron valores entre 46 y 77 $\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$ en un suelo del semiárido sometido a enmiendas orgánicas.

La biomasa microbiana (C-Bm) presentó valores entre 162 y 214 $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}$, ubicándose en el rango de valores de 83,49 $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ de suelo (sistema convencional) y 432,93 $\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}$ de suelo (sistema conservacionista) reportados por Mendoza (2010) en la misma zona. El SMS-aguacate presentó los valores más altos, seguido de los SMS de cebolla y pasto. En el caso del aguacate, el tiempo de descanso favoreció la recuperación del suelo al observarse mejores condiciones físicas, contribuyendo al desarrollo de

los microorganismos del suelo. Así mismo, el aporte de materia orgánica habría promovido la recuperación de la actividad biológica (Torres et al., 2009; Mendoza et al., 2012). En los suelos con cebolla y pasto la reducción en los valores de C-Bm reflejan una disminución de la calidad del suelo por la excesiva mecanización, lo cual ha conllevado a un incremento de la densidad aparente y disminución de la macroporosidad, condiciones desfavorables para el desarrollo de los microorganismos (Rodríguez et al., 2009). Aunque se ha señalado que el pasto tiende a mejorar la actividad biológica del suelo (Wilson et al., 2000), el tiempo de implementación del mismo en la unidad de producción estudiada, como ya se señaló, fue muy corto, por lo que aún no se habrían observado tales mejoras.

Suelos de textura arcillosa. En los suelos pesados el valor mayor de RB correspondió al SMS-ají dulce (Cuadro 7), lo cual sugiere que la fertilización orgánica con gallinaza, así como las buenas condiciones físicas generadas por el manejo habría favorecido la actividad de los microorganismos. Resultados similares hallaron Zamora et al. (2005). De igual forma, en el suelo en barbecho, el tiempo de descanso y la incorporación de restos de cosecha favorecieron las condiciones del suelo.

Cuadro 7. Variables biológicas en suelos con textura arcillosa de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara, en función de tres sistemas de manejo del suelo (SMS) en dos profundidades

Variable	SMS					
	Alto (ají dulce)		Medio (barbecho)		Bajo (bosque)	
	Profundidad					
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
RB ($\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot\text{día}^{-1}$)	15,8 b	16,4 b	13,5 b	14,2 b	12,4 a	11,6 a
C-Bm ($\mu\text{g C}\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}$)	214 b	211 a	192 a	199 a	179 b	196 b

RB= respiración basal; C-Bm= carbono de la biomasa microbiana. Valores seguidos de la misma letra en la fila para una misma profundidad indican que no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

En el caso del bosque los valores más bajos de RB puede ser consecuencia de que el mismo pertenece a una zona semiárida donde hay poca actividad de microorganismos y materia orgánica (Mogollón y Martínez, 2009; Zamora et al., 2009). Dado que en el bosque las poblaciones de microorganismos ya están estabilizadas, mientras que en los sistemas agrícolas las poblaciones varían en función de la calidad del sustrato aportado, es posible que las diferencias en la naturaleza y composición de la materia orgánica originen diferencias en la disponibilidad de sustrato fácilmente degradable lo que a su vez afectaría la actividad microbiana.

Con relación al C-Bm, los suelos con ají dulce y en barbecho presentaron los valores más altos, y el suelo de bosque los más bajos. Como se indicó, éste corresponde a un bosque seco del semiárido, por lo que el tipo de vegetación que aporta materia orgánica para el crecimiento microbiano no es tan efectiva como el incorporado en el SMS-ají dulce, el cual fue fertilizado con gallinaza. De acuerdo con esto, existe un efecto positivo directo de las

enmiendas orgánicas sobre la biomasa microbiana de suelo y otro indirecto derivado de la mejora del crecimiento vegetal (Tejada et al., 2006).

En general, las diferencias encontradas en los parámetros biológicos no son atribuibles al grupo textural ya que las tendencias encontradas fueron bastante similares en ambos tipos de suelo, mientras que por el contrario, sí estuvieron netamente influenciadas por el manejo del suelo.

Cuando se compararon las variables biológicas con las físicas y químicas (Cuadro 8), se encontró correlación significativa e importante del C-Bm con los macroporos y la Ks ($r = 0,84$ y $0,59$, respectivamente), es decir, el C-Bm aumentó cuando hubo buenas condiciones en el suelo, particularmente las condiciones de aireación. Martínez et al. (2008) observaron que la materia orgánica del suelo tendió a aumentar la tasa de infiltración del suelo, y a su vez, Bravo et al. (2004) relacionaron la Ks con la aireación del suelo. Por otra parte, la respiración basal no mostró correlación importante con las variables químicas y físicas.

Cuadro 8. Correlación de variables biológicas con variables físicas y químicas en suelos de la serie Chaimare de la depresión de Quíbor, estado Lara (coeficiente/probabilidad)

	Ks	Macroporos	Microporos	Da	CE	pH	MO	P
RB	0,22/0,04	0,29/0,08	0,15/0,06	-0,22/0,05	-0,21/0,08	0,07/0,40	0,23/0,06	0,28/0,10
C-Bm	0,59/0,02	0,84/0,02	0,26/0,05	-0,23/0,05	-0,21/0,10	0,08/0,31	0,34/0,04	0,27/0,08

RB= respiración basal; C-Bm= carbono de la biomasa microbiana; Ks= conductividad hidráulica; Da= densidad aparente; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica

CONCLUSIONES

El manejo convencional del suelo conllevó a un deterioro de sus condiciones físicas, y se observó mayor densidad aparente y menor conductividad hidráulica en los SMS de pasto y cebolla, condición desfavorable para el desarrollo de microorganismos, que se manifestó en menores valores de respiración y biomasa microbiana.

Los suelos con alta y mediana intensidad de manejo presentaron mayores contenidos de nutrientes con respecto a los de baja intensidad, pero también tendieron a presentar mayor conductividad eléctrica. Los SMS bajo descanso o con aplicaciones de materia orgánica, favorecieron los niveles de MO del suelo.

La biomasa microbiana se correlacionó con la conductividad hidráulica y los macroporos, lo cual demuestra que el mejoramiento en las condiciones físicas del suelo, se traduce en una

mayor actividad biológica de los microorganismos.

AGRADECIMIENTO

A las instituciones que financiaron la investigación: proyectos G-2002000557 de UCV-UNEFM-UCLA, 001-RAG-2003 de UCLA-CDCHT y 009-RAG-2008 de UCLA-SHYQ.

LITERATURA CITADA

1. Abbasi, M. y G. Rasool. 2005. Effects of different land-use types on soil quality in the hilly area of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir. *Acta Agriculturae Scandinavica* 55(3): 221-228.
2. Alef, K. y P. Nannipieri. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, San Diego, CA.

3. Anderson, J. y K. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 10: 215-221.
4. Arias, F., R. Mata, A. Alvarado, E. Serrano y J. Laguna. 2010. Mineralogía de la fracción arcilla de algunos suelos cultivados con banano en las llanuras aluviales del caribe de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 34(2): 197-222.
5. Armado, A., F. Contreras, P. García y J. Paolini. 2009. Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente venezolano. *Avances en Química*. 4(2): 73-77.
6. Balota, E.L., A. Colozzi - Filho, D.S. Andrade y R.P. Dick. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. *Soil Tillage Res.* 77: 137-145.
7. Blanco, H., C. Gantzer, S. Anderson y E. Alberts. 2004. Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of American Journal* 68: 567-576.
8. Bravo, C., Z. Lozano y R.M. Hernández. (2004). Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16(3): 163-172.
9. Consentino, J. y A. Costantini. 2000. Evaluación de algunas formas de carbono como indicadores de degradación en Argiudoles vérticos de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)* 20(1): 31-34.
10. Daza, M.C., J.G. Álvarez y L.A. Rojas. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos. *Agronomía Colombiana* 24(2): 326-333.
11. Delgado, A., M. Henríquez, E. Guerra, D. Torres, V. Rodríguez y O. Rodríguez. 2011. Tipología preliminar de los agricultores del valle de Quibor, Venezuela, según el uso de la tierra. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 28 (Supl. 1): 688-698.
12. Florentino, A. 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: Selección de Indicadores Físicos. Valores Críticos. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 12 p.
13. Gallardo, A., F. Covelo, L. Morillas y M. Delgado. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso Mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18(2): 4-19.
14. García, C. y T. Hernández. 1996. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciorthird soil. *Plant Soil* 178: 255-263.
15. Henríquez, M., O. Rodríguez, V. Rodríguez, D. Torres, J. Contreras, C. Colmenares, E. Guerra y A. Delgado. 2012. Evaluación de prácticas de descanso de los suelos empleadas por los agricultores del valle de Quibor. Convenio Sistema Hidráulico Yacambú Quibor y Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto. Informe final CC05001-07. 60 p.
16. Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego, CA.
17. Hunt, P., D. Karlen, T. Matheny y V. Quisenberry. 1996. Changes in carbon content of a Norfolk loamy sand after 14 years of conservation or continuous tillage. *J. Soil Water Conserv.* 51: 255-258.
18. Johnston, S.G., P. Hirst, P.G. Slavich, R.T. Bush y T. Aaso. 2009. Saturated hydraulic conductivity of sulphuric horizons in coastal floodplain acid sulphate soils: variability and implications. *Geoderma* 151: 387-394.
19. Koné, W., J. Tondoh, F. Bernhard-Reversat, G. Loranger-Merciris, D. Brune y Y. Tano. 2008. Changes in soil biological quality under legume and maize-based farming systems in a humid savanna zone of Côte d'Ivoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(2): 147-155.
20. Martínez, E.H., E. Fuentes y H.E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1): 68-96.
21. Matheus, L., J. Caracas, F. Montilla y O. Fernández. 2007. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Agricultura Andina* 1(13): 27-38.
22. Medina, S., M. López y J. Vilorio. 2011. Evaluación de la biofertilización en el cultivo maíz en suelo del estado Guárico. *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*.

- SVSC-INIA. Calabozo, estado Guárico. 6 p.
23. Mendoza, B. 2010. Efecto de la aplicación de abono orgánico en la calidad física, química y biológica de dos suelos bajo diferentes sistemas de usos y manejo de la zona semiárida, Quíbor-estado Lara. Tesis. Facultad de Agronomía, UCV. 250 p.
24. Mendoza, B., A. Florentino, R. Hernández, J. Aciego y D. Torres. 2012. Atributos biológicos del suelo con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (1): 409-421.
25. Mogollón, J. y A. Martínez. 2009. Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la sierra de San Luis, estado Falcón. *Agronomía Trop.* 59(4): 469-479.
26. Mogollón, J.P., D. Torres y A. Martínez. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22(3): 217-222.
27. Ohep, C., F. Marcano, P. Spiridione y C. Colmenares. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro* 14(1): 33-45.
28. Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales, *Rev. Fac. Agron. Alcance* N° 32. Maracay. 90 p.
29. Plaza, C., D. Hernández, J.C. García-Gil y A. Polo. 2004. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. *Soil Biol. Biochem.* 36: 1577-1585.
30. Ramírez, H., O. Rodríguez e I. Shainberg. 1999. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate. *Soil Sci.* 164: 351-357.
31. Ramírez, P.R., M.A. Taboada y R. Gil. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la pampa ondulada argentina. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 59(1): 3237-3256.
32. Rodríguez, N., H. Coronado, D. Torres y F. Zamora. 2009. Cambios en la biomasa microbiana, respiración basal y germinación de cebolla (*Allium cepa* L.) luego de la aplicación de los herbicidas oxifluorfen, fluaxifop y pendimentalin en un Entisol del estado Falcón. *Revista UDO Agrícola* 9(3): 579-589.
33. SHYQ-UCLA. 2006. Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del sector norte de la zona de aprovechamiento agrícola del Valle de Quíbor. Convenio Sistema Hidráulico Yacambú Quíbor (SHYQ) y Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto. 80 p.
34. Tejada, M., M.T. Hernández y C. García. 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.* 35: 1010-1017.
35. Torres, D., N. Rodríguez, H. Yendis, A. Florentino y F. Zamora. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 18(2): 123-128.
36. Torres, D., M. Aparicio, M. López., J. Contreras e I. Acevedo. 2009. Impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor. *Agronomía Trop.* 59(2): 207-217.
37. Wilson, M.G., C.E. Quintero, N.G. Boschetti, R.A. Benavidez y W.A. Mancuso. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)* 20(1): 23 – 30.
38. Zagal, E. y C. Córdova. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un Andisol cultivado. *Agricultura Técnica* 65(1): 186-197.
39. Zamora, F., J.P. Mogollón y N. Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 5(1): 62-70.
40. Zamora, F., N. Rodríguez, D. Torres y H. Yendis. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Revista Agricultura Técnica en México* 35(2): 211-218.
41. Zamudio-González, B., A. Vázquez-Alarcón, J. Salazar, J. Hernández y G. Alcantar. 2007. Disponibilidad y movimiento vertical de potasio en Fluvisoles con riego por goteo simulado *Terra Latinoamericana* 25(3): 287-295.