

PROCESOS DE COMPACTACIÓN EN UN SUELO VERTISOL BAJO CUATRO CONDICIONES DE MANEJO EN LA LLANURA DE CORO, ESTADO FALCÓN, VENEZUELA

Willians J. Reyes R.¹

RESUMEN

El estudio se efectuó en un suelo clasificado como Vertisol correspondiente a la Unidad de Apoyo Académico “Ingeniero José Landaeta”, Unidad Académica- Experimental de la Universidad Francisco de Miranda, en la cual se presentan cuatro condiciones de manejo: condición en descanso (C1), condición de cultivos semipermanente (C2), condición de antiguos potreros (C3) y áreas intensamente intervenidas (C4). En cada una se evaluó el proceso de compactación a profundidad de 0-15 y 15-30 cm mediante indicadores físicos, químicos y biológicos. Se encontró que no existen diferencias en el primer estrato para las cuatro condiciones de manejo, mientras que para el segundo estrato se detectaron incrementos en la densidad aparente para las condiciones de mayor intervención mecánica. Por otra parte, el análisis de componentes principales discriminó dos grupos: los suelos bajo las condiciones de mayor intervención antrópica (C2 y C4) de los suelos menos perturbados y en descanso (C1 y C3) asociándose el primer grupo a mayor variación de la densidad aparente, producto de la mayor manipulación mecánica de los mismos, mientras que el segundo grupo se asoció a mejoras de los contenidos de materia orgánica producto de los aportes de la vegetación natural.

Palabras clave adicionales: Indicadores de compactación, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

ABSTRACT

Soil compaction processes in a Vertisol under four handling conditions in Coro Plain, Falcón State, Venezuela

The study was conducted on soils classified as Vertisol, belonging to the Academic Support Unit “Ingeniero José Landaeta”, Academic Unit of the Francisco de Miranda University, under four management conditions: fallow condition (C1), semi-permanent crop condition (C2), previous pasture conditions (C3), and intensely intervened areas (C4). Under each condition the soil compaction process was evaluated at 0-15 and 15-30 cm using physical, chemical and biological indicators. It was found no differences in the first layer for the management conditions, while in the second layer bulk density significantly increased for conditions of increased mechanical intervention. Likewise, principal component analysis discriminated two groups of soils: one under conditions of increased antropic disturbance (C2 and C4), and the other consisting of resting or less disturbed soils (C1 and C3); the first group was associated to greater variation in bulk density due to higher mechanical manipulation, while the second group was associated to improvements of organic matter content, attributed to the natural vegetation contributions.

Additional key words: Soil compaction indicators, physical, chemical and biological soil properties

INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos se ha descrito como la reducción de las capacidades del mismo para cumplir sus funciones y servicios a la sociedad, y se origina por múltiples factores y procesos entre los cuales se destacan la erosión hídrica, eólica, salinización y degradación física. Esta última fuente de degradación es muy común en zonas altamente productivas, caracterizándose por la reducción en la continuidad de los poros del suelo, aumento de la densidad aparente y resistencia

mecánica (Reyes, 2007). Según Ortiz y Hernanz (1989) puede originarse por fuerzas internas (ciclos de humedecimiento y secado del suelo) y por fuerzas externas (cargas de maquinarias, pisoteo del ganado y lluvia) y su importancia a nivel mundial es cada vez más relevante dada su incidencia en la calidad y salud de los suelos.

Por lo anterior, se justifica realizar estudios que permitan diagnosticar y/o evidenciar la susceptibilidad de los suelos a procesos de compactación, con el fin de realizar las medidas correctivas pertinentes o las acciones preventivas

Recibido: Febrero 24, 2013

Aceptado: Octubre 14, 2013

¹ Programa de Ingeniería Agronómica, Área de Ciencias del Agro y del Mar, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Coro. Venezuela. e-mail: williansr@cantv.net

para reducir los efectos adversos de este tipo de degradación.

Ahora bien, las diferentes condiciones de manejo de los suelos inciden en mayor o menor grado en los cambios físicos, químicos y biológicos de los mismos. Modelos de producción intensivos producen cambios significativos de los contenidos de materia orgánica afectando las propiedades biológicas del suelo como biomasa microbiana y respiración basal entre otras (Mogollón et al., 2010). Por otra parte, las prácticas de labranza afectan propiedades como cobertura vegetal, densidad aparente, estabilidad estructural del suelo, comportamiento hidrológico y pérdidas de suelo (Torres et al., 2006). En síntesis, se hace necesario a la hora de abordar estudios de degradación de suelos considerar la intensidad de uso y características de manejo del suelo (Torres et al., 2009; Rodríguez et al., 2009).

Bajo la anterior premisa, se evaluó el efecto de diferentes grados de intervención o manejo sobre el proceso de compactación de suelos en la unidad de apoyo académico "Ingeniero José Landaeta".

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó en los suelos de la Unidad de Apoyo Académico "Ingeniero José Landaeta" (UAAIJL), perteneciente a la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, la cual está ubicada geográficamente en las coordenadas 11°24' de latitud Norte y 69°38' de longitud Este a una altitud de 20 msnm. Se realizó un muestreo de suelos en red o malla, con separaciones entre los puntos de 50 m en un área efectiva de 4,67 ha para un total de 35 puntos. Se empleó como criterio para seleccionar la distancia de muestreo la homogeneidad en la pendiente y suelos de un mismo grupo textural. En cada punto se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas a dos profundidades, 0-15 cm y 15-30 cm, para las variables muestras físicas y químicas, 0-10 cm para las variables biológicas, y muestreos en los estratos de 0-5, 5-15 y 15-30 cm de profundidad para construir perfiles de resistencia mecánica y humedad.

Se determinaron los siguientes atributos con el propósito de emplearlos como indicadores e índices de procesos de compactación: distribución de tamaño de partículas, densidad aparente (Da), espacio poroso total (EPT), macro y microporos

(Bonneau y Souchier, 1987), estabilidad estructural (Pla, 1983), materia orgánica (Walkey-Black), humedad gravimétrica e índice de cono, y perfiles de resistencia mecánica a partir de registros tomados utilizando un penetrómetro con un cono de 1 cm². Además, se estimaron los índices predictores de sellado y encostramiento según las siguientes ecuaciones:

- Índice de separabilidad de partículas (ISP) e índice de sellado-encostramiento (ISE) (Florentino, 1998):

$$ISP = \frac{\%A}{\%L + \%af + \%amf}$$

$$ISE = \frac{6,7433 \times \%MO}{0,55001 \times (\%L + \%amf + \%af)}$$

donde, A es arcilla (< 2 μm), L es limo (2-50 μm), af es arena fina (100-250 μm), amf es arena muy fina (50-100 μm) y MO es materia orgánica.

- Índice de encostramiento (IE) de FAO modificado (Comerma et al., 1992):

$$I.E. = \frac{1,1255 L}{A + 10 M.O.}$$

En relación a los bioindicadores, se determinó la respiración basal mediante la captura de CO₂ desprendido durante incubación del suelo en una trampa de álcali de NaOH; la respiración se estimó mediante el cociente del CO₂ emitido y el tiempo de prueba (Alef, 1995). El carbono de biomasa microbiana se determinó mediante el método de respiración inducida por sustrato, el cual se fundamenta en la estimulación de la respiración de los microorganismos agregándole glucosa durante la incubación, para luego estimar el CO₂ siguiendo la misma metodología anterior (Anderson y Domsch, 1978). Estos bioindicadores fueron seleccionados por representar variables de alta sensibilidad al manejo de suelo, característica que los califica como buenos estimadores de degradación de este recurso (Peña y Acuña, 2008).

Cada una de los atributos anteriormente descritos se determinaron para las cuatro condiciones de manejo que presenta el área de estudio: área de descanso o reducida intervención, área de cultivos semipermanentes (caña de azúcar y pastos), área de antiguos potreros (actualmente en descanso) y áreas intensamente intervenidas. En el Cuadro 1 se describen cada una de estas zonas.

Los resultados fueron comparados mediante

análisis de varianza y pruebas de Tukey para detectar las diferencias sobre las condiciones de compactación en las cuatro condiciones de manejo de suelo, y estadística multivariada para estudiar la asociación entre los indicadores y/o las condiciones de manejo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran los valores promedio de las características físicas y químicas de cada condición de manejo, destacándose que los suelos son muy homogéneos en la granulometría, incluso en la profundidad, presentando altos contenidos de arcilla ($\geq 50\%$), moderados de limo y bajos de arena. Esta característica de presentar altos contenidos de arcillas, las cuales se presumen expansivas por las grietas evidenciadas en campo, predisponen a los suelos a procesos de compactación. En relación a

las propiedades físicas Da, EPT, macroporos y microporos, se aprecia cómo para el primer estrato no existen diferencias significativas para las cuatro condiciones de manejo. Estos resultados contrastan con otros de similar naturaleza donde se evidenció que suelos con reducida perturbación y mayores períodos de descanso tienden a mejorar sus propiedades físicas (Rodríguez et al., 2009; Torres et al., 2009; Jaurixje, 2013); sin embargo, es necesario considerar que, como ya se señaló, los suelos en estudio poseen la tendencia a la compactación aun en condiciones naturales. Por otra parte, la materia orgánica sí evidenció diferencias significativas de la condición en descanso en comparación con las restantes condiciones de manejo mostrando similares resultados a los encontrados por Rodríguez et al. (2009) quienes evidenciaron que sistemas de manejo de menor perturbación y mayor descanso tienden a mejorar esta propiedad química.

Cuadro 1. Condiciones de manejo de suelo presentes en el área bajo estudio

Condiciones	Descripción
Área en descanso o poco intervenida por el hombre (C1)	Sin alteraciones de las condiciones de suelo por aproximadamente 10 años, con predominio de vegetación natural arbórea y suelo mantenido bajo sombra y cubierto por mantillo de vegetación
Área de cultivos semipermanentes (C2)	Con caña de azúcar y pastizales, poca intervención mecánica del suelo, bajo riego. Cosechas de forma manual y reducido tránsito de maquinaria
Área de antiguos potreros (C3)	Anteriormente con caprinos y ovinos, en descanso por 5 años. Predominio de vegetación arbustiva que cubre el suelo
Áreas altamente intervenidas (C4)	Diversos cultivos, con uso intensivo de insumos agrícolas y alta intervención mecánica del suelo

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del suelo en las cuatro condiciones de manejo en el área bajo estudio

Condición	Prof (cm)	Textura			Da (Mg·m ⁻³)	EPT (%)	Macro (%)	Micro (%)	MO (%)
		A	L	a					
C1	0-15	52	28	20	1,44 b	49,12 a	7,19 a	43,21 a	2,63 a
	15-30	50	26,7	23,3	1,56 b	50,03 a	6,43 a	46,55 a	1,75 a
C2	0-15	52,6	33,6	13,6	1,43 b	50,35 a	6,77 a	43,58 a	2,12 b
	15-30	56	34,7	9,33	1,63 a	49,52 a	4,25 c	45,27 a	1,41 b
C3	0-15	50	30,4	19,6	1,55 b	48,01 a	7,55 a	40,45 a	2,17 b
	15-30	48,8	30,8	20,4	1,52 b	45,36 a	6,97 a	38,39 b	1,23 b
C4	0-15	52,1	32,1	15,8	1,53 b	50,63 a	7,83 b	42,65 a	1,96 b
	15-30	52,8	31,8	15,1	1,65 a	48,55 a	5,37 b	43,17 a	1,33 b

Letras distintas entre tratamientos para una misma profundidad indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Da: densidad aparente; EPT: espacio poroso total; Macro: macroporos, Micro: microporos; MO: materia orgánica. C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

Para el segundo estrato se aprecia que existen diferencias significativas de los valores de densidad aparente para las condiciones de manejo C2 y C4 en comparación con C1 y C3, presentando las primeras condiciones de manejo valores más altos. Efectivamente, las zonas que han presentado un mayor grado de variación física son aquellas que han sido intensamente intervenidas (C4) y áreas de cultivos semipermanentes (C2), lo que sugiere que la preparación de suelo por métodos convencionales por largos periodos de tiempo a profundidad de 15 cm han originado estas diferencias (Ortiz y Hernanz, 1989; Dias, 2000). En relación a la porosidad, se aprecia que los porcentajes de macroporos están, en general, por debajo del 10 %, valores considerados como críticos para el normal desarrollo de las raíces de los cultivos (Pla, 1983); así mismo, se destaca la prevalencia de los valores de microporos sobre macroporos. Por otra parte, se detectó mayor cantidad de macroporos y menor de microporos del suelo en C3 lo cual se atribuye a los mayores contenidos de arena y menores de arcilla en el segundo estrato de esa condición de manejo. Por último, se destacan al igual que en el primer estrato, valores más altos de materia orgánica en la condición de descanso en comparación con las restantes condiciones de manejo.

Los valores promedio de índices de cono a los 15 y a los 30 cm para las cuatro condiciones de manejo presentaron, en general, valores altos (Cuadro 3) que pueden ser considerados como críticos (Florentino, 1998). Por otra parte, se aprecia que no existen diferencias significativas para las cuatro condiciones de manejo. Este resultado es congruente con lo encontrado en las propiedades físicas y muestra cómo los suelos producto de sus altos contenidos de arcilla y los ciclos de secado y humedecimiento tienden a compactarse de forma natural, lo que puede ocasionar que se presenten condiciones similares entre los suelos de menor y mayor perturbación.

Al evaluar la resistencia con relación a la profundidad del suelo para las cuatro condiciones de manejo, se aprecia que para la condición C1 aumentan de manera simultánea la humedad y la resistencia mecánica en el estrato de 5 a 15 cm, mientras que para el estrato de 15 a 30 cm disminuye la resistencia mientras continua en aumento la humedad del suelo. Estos resultados

descartan el efecto de la humedad sobre la dureza del suelo en el estrato de 5 a 15 cm señalando posibles problemas estructurales originados en forma natural y/o por efectos antrópicos. Para el estrato de 15 a 30 cm sí se evidencia el efecto de la humedad del suelo sobre la resistencia mecánica pues esta disminuye al aumentar la humedad.

Cuadro 3. Resistencia mecánica del suelo medida como índice de cono promedio a dos profundidades para las cuatro condiciones de manejo

Condición	Índice de cono (MPa)	
	IC ₁₅	IC ₃₀
C1	3,23 a	3,06 a
C2	2,67 a	2,57 a
C3	2,80 a	3,02 a
C4	3,88 a	4,03 a

Letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). IC₁₅: Índice de cono a 15 cm; IC₃₀: Índice de cono a 30 cm. C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

En relación a la condición C2 se observan para el estrato de 5 a 15 cm valores de resistencia mecánica ligeramente más bajos que la condición anterior, manteniéndose constante a pesar que aumentan los contenidos de humedad para posteriormente en el estrato de 15 a 30 cm disminuir a pesar que la humedad también presenta similar comportamiento. Por otra parte, la condición C3 muestra para el estrato de 5 a 15 cm un efecto marcado de aumento de la resistencia al reducir la humedad del suelo para luego en el estrato de 15 a 30 cm reducirse la resistencia mecánica por efecto de aumentos en la humedad.

Por último, la condición C4 muestra similar comportamiento que las dos primeras condiciones al presentar aumentos en el estrato de 5 a 15 cm y luego descenso en el estrato de 15 a 30 cm, descartándose el efecto de la humedad en los primeros 15 cm de profundidad. En general, los suelos presentan altos niveles de resistencia mecánica (2,5 a 3,0 MPa) a reducidas profundidades (5 a 15 cm) y se descarta el efecto de la humedad del suelo sobre el estado de consistencia del mismo a excepción de la condición C3; así mismo, se aprecia cómo los

problemas estructurales se evidencian de forma más marcada en los primeros 15 cm de profundidad ya que en el siguiente estrato (15 a 30 cm) se reducen los valores de resistencia mecánica.

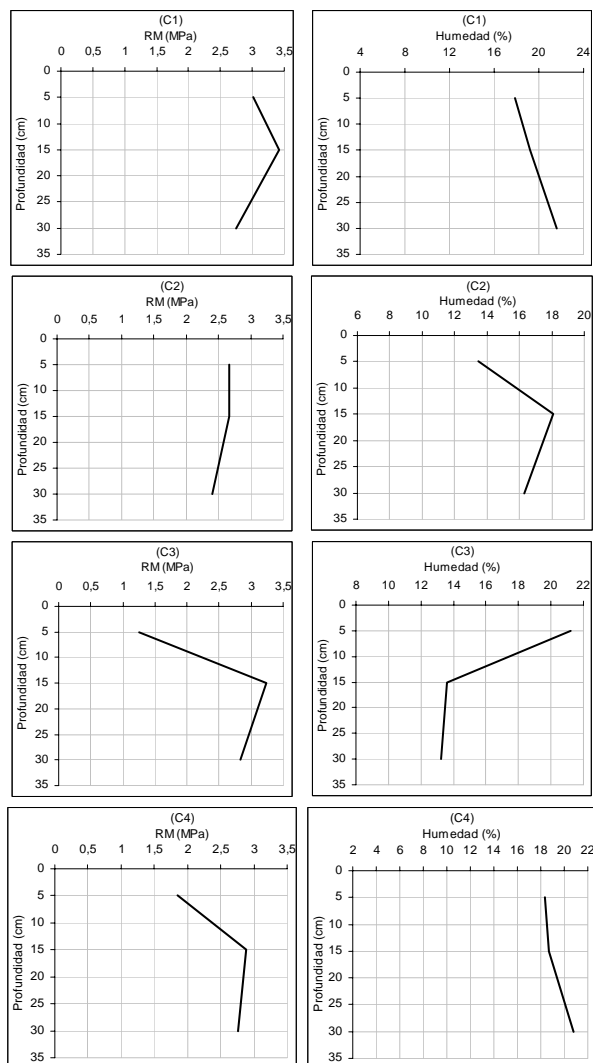


Figura 1. Perfiles de resistencia mecánica (RM) y humedad del suelo para las cuatro condiciones de manejo. C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

No se detectaron diferencias significativas en la respiración basal y biomasa microbiana para las cuatro condiciones de manejo (Cuadro 4). Estos resultados contrastan con lo reportado por Mogollón et al. (2010) en su estudio sobre los cambios de las propiedades biológicas de los suelos en diferentes usos de la tierra, donde se

encontró que suelos con mayor descanso y menor perturbación mostraron mayores valores de estos bioindicadores en comparación con suelos sometidos a manejos convencionales. Así mismo, el bajo promedio observado en la respiración basal del C1 no se corresponde con los mayores niveles de materia orgánica encontrados en esa condición (Cuadro 2); sin embargo, Pulido et al. (2009) señalaron que aumentos de los contenidos de materia orgánica no necesariamente se traducen en mayor actividad biológica pues es posible que la materia orgánica presente corresponda al tipo recalcitrante.

Con relación a los riesgos o susceptibilidad a la compactación, se observa que existen tres grupos de estabilidad de agregados frente al agua: el primero está conformado por la condición C2, la cual presenta los valores más altos de DMP, un segundo grupo formado por las condiciones C1 y C3 con valores intermedios, y finalmente, un grupo formado por la condición C4 que presenta los valores más bajos de DMP (Cuadro 5). Estos resultados se atribuyen a la mayor estabilidad que el sistema radical de los pastizales y caña de azúcar confieren a los suelos en C2; por el contrario, la alta tasa de desmenuzamiento del suelo por medios mecánicos, que se traduce en la destrucción de la estructura, influyen en que la condición de alta intervención (C4) presente la mayor susceptibilidad a disgregarse frente al agua.

Los valores promedio de los índices predictores del sellado y encostramiento muestran, en términos generales, que el IE y el ISP predicen similares resultados para las cuatro condiciones de manejo, mientras que el ISE predice diferente para la condición de descanso (C1) en relación a las restantes condiciones (Cuadro 6). Se infiere que los mayores contenidos de materia orgánica en la condición en descanso (Cuadro 2) afectan los resultados de este índice. Por otra parte, los valores encontrados para IE (<1) e ISP (>1) en las cuatro condiciones de manejo se corresponden con suelos de alta estabilidad sin problemas de compactación superficial (Comerma et al., 1992) a diferencia del ISE cuyos valores (0,5 a 0,7) indican moderada formación de sello y encostramiento (Florentino, 1998). Esto indica que el ISE fue el índice de mayor fiabilidad dado la presencia de sello y costras evidenciadas en campo. Así mismo, de acuerdo al DMP y porcentajes de agregados menores a 0,5 mm, los

suelos presentan de moderada a baja estabilidad (SCCS, 1990), lo cual se corresponde con la interpretación de moderada estabilidad desprendida del ISE.

Cuadro 4. Respiración basal y biomasa microbiana del suelo para las cuatro condiciones de manejo

Condición de manejo	Respiración basal (mg CO ₂ · g ⁻¹ suelo · día ⁻¹)	Biomasa microbiana (mg CO ₂ · 100 g ⁻¹ suelo · hora ⁻¹)
C1	2,66 a	2,15 a
C2	4,93 a	3,07 a
C3	4,59 a	2,58 a
C4	3,48 a	2,92 a

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05). C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

Cuadro 5. Diámetro medio ponderado (DMP) y porcentajes de agregados estables al agua (AE) del suelo para las cuatro condiciones de manejo

Condición	DMP	(%)AE 2-4 mm	(%)AE 1-2 mm	(%)AE 0,5-1 mm	(%)AE 0,5-0,25 mm	(%)AE <0,25 mm
C1	2,5 b	62,96	0,65	7,54	6,99	21,86
C2	2,8 a	74,23	0,29	2,6	4,15	18,73
C3	2,5 b	57,58	1,43	7,14	6,74	27,12
C4	2,1 c	39,87	4,41	10,41	9,73	35,57

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05). C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

Cuadro 6. Valores promedio de los índices predictores de sellado y encostramiento del suelo para las cuatro condiciones de manejo

Condición	ISP	ISE	IE
C1	1,10 a	0,74 a	0,46 a
C2	1,12 a	0,55 b	0,51 a
C3	1,14 a	0,61 b	0,48 a
C4	1,08 a	0,51 b	0,54 a

Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05). ISP (Índice de separación de partículas), ISE (Índice de sellado-encostramiento), IE (Índice de encostramiento). C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

Los autovalores para el estrato de 0 a 15 cm, correspondientes al análisis multivariado, muestran que los dos primeros componentes principales aportan el 83 % de la variabilidad (Cuadro 7), elemento que señala que el estudio presenta confiabilidad con el uso de sólo estos dos componentes. Así también, en la Figura 2 se observa que las variables que mayor asociación

poseen con el primer componente fueron el contenido de arena y el ISE, seguido del contenido de limo, arcilla e IE, representado en la Figura 2 con la mayor longitud horizontal de los vectores; mientras que para el segundo componente las variables que presentan mayor asociación fueron el contenido de microporos y el ISP, seguidos del EPT.

Cuadro 7. Autovalores generados para el estrato de 0 a 15 cm del suelo para las cuatro condiciones de manejo

Componente principal	Valor	Proporción	Proporción acumulada
CP1	8,39	0,60	0,60
CP2	3,29	0,23	0,83
CP3	2,31	0,17	1,00

En la Figura 2 se destaca que desde el primer componente se separa la condición de manejo 1 y 3 de la condición de manejo 2 y 4, segregación que corresponde a las áreas de mayor descanso y de mayor intervención mecánica, respectivamente. El primer grupo está asociado con las variables: materia orgánica, contenido de arena, porosidad, índice de cono a los 15 cm, biomasa microbiana e índice de sellado y encostramiento. Por su parte, el segundo grupo se caracteriza por su asociación a las variables: contenido de arcilla y limo, índice de encostramiento, respiración basal y densidad aparente. Por otra parte, se aprecian asociaciones positivas entre las variables como fueron los contenidos de limo y arcilla vs. índice de encostramiento, y contenido de arena vs. índice de

sellado-encostramiento. Esto se explica porque el índice de encostramiento emplea en su estimación las partículas del suelo menores de 50 μm , rango en el que están las partículas de arcilla y limo, y el índice de sellado-encostramiento utiliza para su determinación los contenidos de arenas finas y muy finas. Entre las asociaciones negativas resaltan la densidad aparente vs. porosidad del suelo, y la respiración basal vs. materia orgánica. Es decir, en la medida que aumenta la densidad aparente la porosidad del suelo decrece, mientras que la asociación negativa entre la respiración basal y los contenidos de materia orgánica confirman la reducida calidad de esta última y su mínimo efecto sobre este bioindicador en particular.

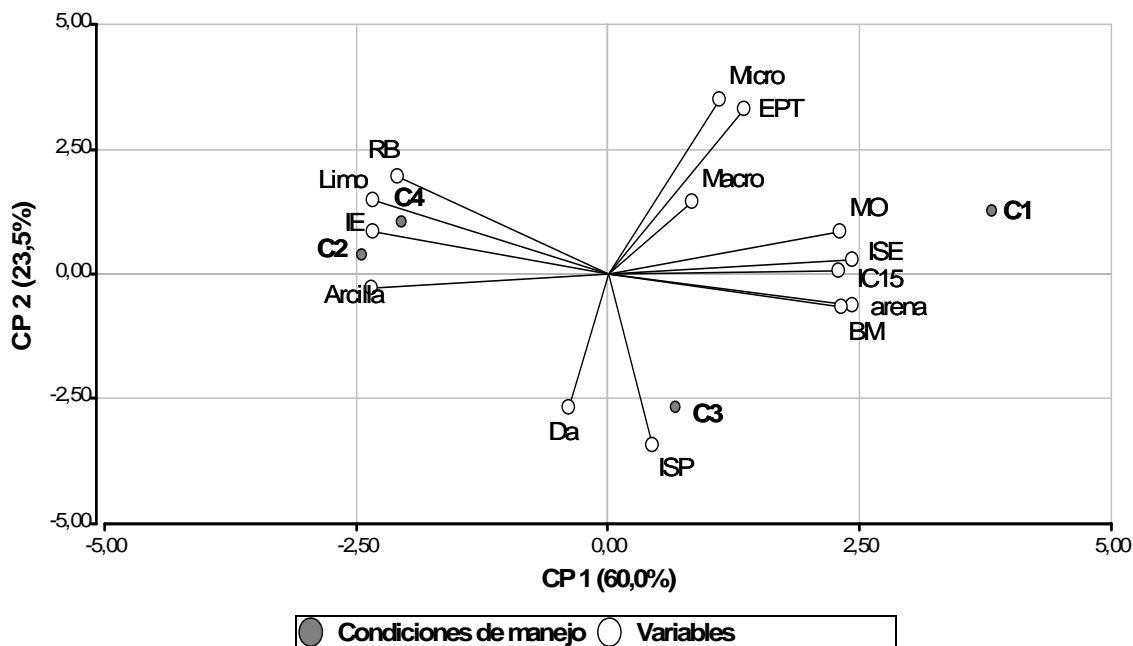


Figura 2. Distribución en el plano de las variables y condiciones de manejo estudiadas a la profundidad de 0-15 cm. RB: respiración basal; BM: biomasa microbiana; MO: materia orgánica; Macro: macroporos; Micro: microporos; Da: densidad aparente; EPT: Espacio poroso total; IC15: índice de cono a los 15 cm; ISP: Índice de separabilidad de partículas; ISE: Índice de sellado y encostramiento IE: Índice de encostramiento. C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

Los autovalores para el estrato de 15 a 30 cm muestran resultados similares al primer estrato, es decir, una variabilidad alta (88 %) para los dos primeros componentes (Cuadro 8). Así, la Figura 3 evidencia que para el primer componente las variables de mayor peso fueron la arena, arcilla y densidad aparente, mientras que para el segundo

componente fueron microporos y materia orgánica. Dicha figura muestra que el componente de mayor variación (CP1) separa, de manera similar al primer estrato, las condiciones de manejo 2 y 4 de las condiciones 1 y 3. Es decir, las condiciones 1 y 3 representan las condiciones donde el suelo ha permanecido en descanso,

mientras que las condiciones 2 y 4 representan las de mayor intervención antrópica.

Las condiciones 2 y 4 están asociadas a los contenidos de arcilla y limo, densidad aparente y microporos, mientras que las condiciones 1 y 3 están asociadas a las variables de contenido de arena, espacio poroso total, materia orgánica y macroporos. En general, se aprecian asociaciones positivas de macroporos vs. contenido de arena, microporos vs. materia orgánica, y contenidos de arcilla y limo vs. densidad aparente. Estos resultados sugieren que los macroporos de este

estrato de suelo dependen en gran proporción de las partículas de mayor diámetro (arena) más que de la mejor estructuración lograda por los beneficios de la materia orgánica; los mayores porcentajes de microporos se corresponden con menor disponibilidad de oxígeno, lo que origina mayores limitaciones para la actividad biológica y por ende menor descomposición de la materia orgánica. En relación a las asociaciones negativas se destacan las muy obvias de macroporos vs. densidad aparente, y macroporos vs. contenido de arcilla.

Cuadro 8. Autovalores generados para el estrato de 15 a 30 cm del suelo para las cuatro condiciones de manejo

Componente principal	Valor	Proporción	Proporción acumulada
CP1	4,62	0,58	0,58
CP2	2,39	0,30	0,88
CP3	0,98	0,12	1,00

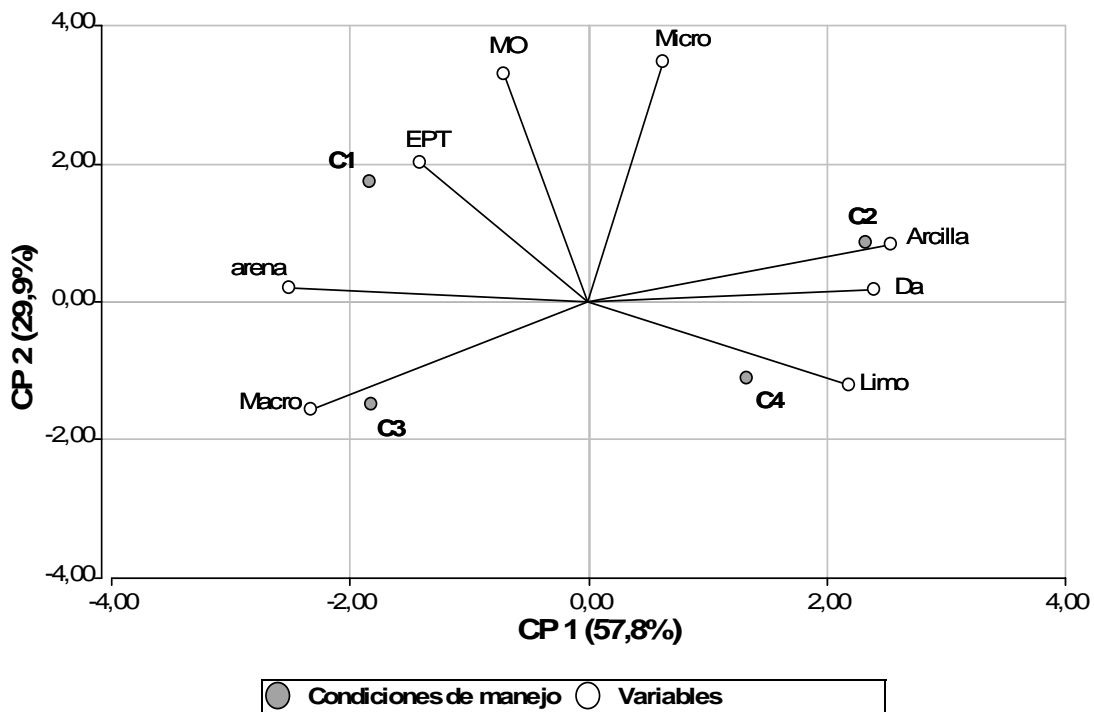


Figura 3. Distribución en el plano de las variables y condiciones de manejo estudiadas a la profundidad de 15-30 cm. Macro: macroporos; Micro: microporos; Da: densidad aparente; EPT: Espacio poroso total. C1: áreas en descanso; C2: áreas de cultivos semipermanentes; C3: áreas de antiguos potreros; C4: áreas altamente intervenidas

CONCLUSIONES

Los suelos de la Unidad de Apoyo Académico Ingeniero José Landaeta presentan, en general,

condiciones de degradación por procesos de compactación, evidenciados en los altos valores encontrados en los indicadores como densidad aparente (1,43 a 1,65 Mg·m⁻³), resistencia

mecánica del suelo (2,57 a 4,03 MPa) y bajos valores de macroporos (4,25 a 7,83 %).

Las diferentes condiciones de manejo de suelo no presentaron diferencias en relación a los indicadores físicos y biológicos para el estrato de 0 a 15 cm, mientras que para el segundo estrato se evidenciaron mayores valores de densidad aparente para las condiciones de mayor intervención mecánica.

Los suelos de mayor intervención mecánica presentan la mayor susceptibilidad a compactarse, mientras que los suelos bajo cultivos semipermanentes presentan los menores riesgos a procesos de compactación, resultado reflejado en los menores y mayores valores de DMP encontrados respectivamente para cada condición de manejo.

El índice de sellado-encostramiento (ISE) reflejó acertadamente las condiciones de encostramiento evidenciadas en campo, mientras que para este caso los índices ISP e IE no resultaron buenos predictores.

La condición de suelo caracterizada por mayor intervención mecánica está asociada a mayor variación de la Da en el estrato 15-30 cm, mientras que las condiciones de suelos menos perturbados y en descanso se asocian a mejoras en los contenidos de materia orgánica.

LITERATURA CITADA

1. Alef, K. 1995. Soil respiration. *In*: K. Alef y P. Nannipieri (eds.). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers. London. pp. 214-217.
2. Anderson, J.P. y K.H. Domsch. 1978. A physiological method for the Quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil. Biol. Biochem.* 10: 215-221.
3. Bonneau, M. y B. Souchier. 1987. *Edafología. Constituyentes y Propiedades del Suelo*. Edit. Masson. Barcelona.
4. Comerma, J., S. Torres, D. Lobo, N. Fernández, R. Delgado y L. Madero. 1992. Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la FAO 1985 en la zona de Turén, Venezuela. *Cuadernos de Agronomía* 1 (1): 24.
5. Dias, J. 2000. Compactacao do solo. *Temas em ciencia do solo*. Sociedade Brasileira de ciencia do solo 1 : 55 -94.
6. Florentino, A. 1998. Guía para la evaluación y monitoreo de la degradación de suelo y de la sostenibilidad de uso de la tierra: indicadores físicos y valores críticos. Instituto de Edafología. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 9 p.
7. Jaurixje, M., D. Torres, B. Mendoza, M. Henríquez y J. Contreras. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 25(1): 47-56.
8. Mogollón, J.P., D. Torres y A. Martínez. 2010. Cambios de algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22(3): 217-222.
9. Ortiz, C.J. y J.L. Hernanz. 1989. *Técnica de la Mecanización Agraria*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
10. Peña, W. y O. Acuña. 2008. Indicadores biológicos de calidad de suelo bananero. I Simposio Internacional Calidad y Salud de Suelos Bananeros. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. Resumen p. 11.
11. Pla, I. 1983. Metodología para caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de los suelos en condiciones tropicales. *Alcance* 32: 92.
12. Pulido, M., D. Lobo y Z. Lozano. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia* 43(3): 221-230.
13. Reyes, W. 2007. Evaluación de condiciones y riesgos de compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Croztía* 8(1 y 2): 63-72.
14. Rodríguez, N., A. Florentino, D. Torres, H. Yendis y F. Zamora. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de tierra en la planicie de Coro, estado Falcon. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26(3): 340-361.
15. SCCS (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo). 1990. *Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelo, Plantas y*

Aguas para Riego. Memorias de Seminario-Taller. SCCS. Bogotá. 323 p.

16. Torres, D., A. Florentino y M. López. 2006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un Ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico Venezuela.

Bioagro 18(2): 83-91.

17. 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.