

Análisis multivariado del efecto agrogénico del uso de la tierra sobre diferentes tipos de suelos

Multivariate analysis of agrogenic effect of land use over different soil types

Juan Alejandro Villazón Gómez¹, George Martín Gutiérrez², Yakelín Cobo Vidal² y Pablo Pablos Reyes³

RESUMEN

Los cambios que, en cuanto a usos de la tierra, el hombre realiza provocan variaciones en las propiedades de los suelos. Cuando el cambio se realiza con fines agrícolas se deteriora la fertilidad del suelo y se altera el régimen hidrológico. Con el objetivo de determinar, mediante un análisis multivariado, el efecto agrogénico del uso de la tierra sobre diferentes tipos de suelo, fueron evaluados tres puntos de observación permanentes en la provincia de Holguín. Los suelos fueron Ferrítico Rojo Oscuro, Vertisol Crómico y Vertisol Pélico, todos con tres usos de la tierra, caña de azúcar, pasto natural y diferentes variantes de bosque (pinos, neem y casuarinas). Se determinaron la densidad aparente y la humedad gravimétrica promedio, a partir de tres repeticiones en cada uso de la tierra para las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Fue empleado el Análisis de Componentes Principales para identificar las variables que expliquen la mayor variabilidad de los datos y el Análisis Discriminante para el grado de exactitud de los grupos y las diferencias entre estos. Las mayores explicaciones de la varianza estuvieron dadas por las propiedades físicas en los horizontes inferiores, que coincidieron con los horizontes principales de diagnóstico férrico y vértico. El efecto de estas propiedades sobre la explicación de la varianza fue menor en el horizonte superficial; lo que hizo suponer una mayor diferencia entre tipo de suelos que entre usos de la tierra. Sin embargo, el análisis discriminante mostró diferencias altamente significativas entre todos los grupos, con una correlación entre ellos cercana a 1, con buena discriminación y un 85,19% de buena clasificación.

Palabras clave: Ferríticos Rojos Oscuros, Vertisoles, Densidad aparente, Manejo del suelo.

ABSTRACT

The changes that, in terms of land uses, man makes cause variations in the properties of soils. When the change is made for agricultural purposes, the fertility of the soil is deteriorated and the hydrological regime is altered. In order to determine, through a multivariate analysis, the agrogenic effect of land use on different types of soil, three permanent observation points were evaluated in Holguín province. The soils were Dark Red Ferritic, Chromic Vertisol and Pellic Vertisol, all with three uses of the land, sugarcane, natural grass and different forest variants (pines, neem and casuarinas). The soil bulk density and the average gravimetric moisture were determined, from three repetitions in each land use for the depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm. The Principal Component Analysis was used to identify the variables that explain the greater variability of the data and the Discriminant Analysis for the degree of accuracy of the groups and the differences between them. The greatest explanations for the variance were given by the physical properties in the lower horizons, which coincided with the main horizons of ferric and vertic diagnosis. The effect of these properties on the explanation of the variance was lower in the superficial horizon; what made us assume a greater difference between soil types than between land uses. However, the discriminant analysis showed highly significant differences between all the groups, with a correlation between them close to 1, with good discrimination and 85.19% of good classification.

Keywords: Dark Red Ferritic, Vertisols, Soil bulk density, Soil management.

Introducción

El uso de la tierra constituye uno de los factores más influyentes en los procesos que provocan cambios

en el medioambiente, pues sus efectos repercuten en las formas básicas del paisaje, entre ellas el suelo. Un manejo inadecuado de los suelos puede ocasionar, en un corto período de tiempo, la degradación de

¹ Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Ave. de Los Libertadores, km 3½, Holguín, Cuba.

² Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín. Cuba.

³ Estación territorial de investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) Oriente Sur. Cuba.

* Autor por correspondencia: villazon@uho.edu.cu

Fecha de Recepción: 08 mayo, 2018.

Fecha de Aceptación: 29 agosto, 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005001001>. Publicado en línea: 5-noviembre-2018.

extensas superficies de tierra, con la consiguiente amenaza para la subsistencia de las comunidades rurales, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (González *et al.*, 2014).

Está demostrado que los cambios que el hombre realiza en el uso de la tierra tiene un efecto agrogénico que provoca alteraciones en las propiedades de los suelos (Hernández *et al.*, 2017). La compactación y el aumento de la densidad del suelo son las primeras variaciones que ocurren con el cambio del uso de la tierra (Torres *et al.*, 2016). Entre las principales causas de la compactación del suelo están las presiones ejercidas por el tránsito de la maquinaria agrícola y el pisoteo animal (Gutiérrez *et al.*, 2014). De esta manera, la caracterización física del suelo es importante a la hora de conocer el ambiente biofísico en el que transcurre el desarrollo radicular de las plantas (Batey, 2009) y cómo este cambia debido al efecto de la actividad antrópica (Rodríguez *et al.*, 2015).

Los suelos Ferríticos tienen entre sus principales factores limitantes el concrecionamiento, la compactación, la acidez, la baja fertilidad y poca retención de humedad. Estas características provocan, entre otros efectos negativos, la atrofia y disminución de la cantidad de raíces, disminución de la aireación, poca capacidad de absorción, retención de agua y nutrientes, empobrecimiento de los suelos y disminución de la fertilidad y poca profundidad efectiva (Cuéllar *et al.*, 2002). Con un clima tropical húmedo, muchas veces se encuentran bajo una vegetación natural de pluvisilvas y pinares (Hernández, 2004).

Los Vertisoles son propensos a compactarse cuando son frecuentes las labores mecanizadas. En el caso contrario, cuando se encuentran bajo cultivos semipermanentes, presentan menores riesgos de sufrir procesos de compactación (Willians y Reyes, 2014). En México la degradación por compactación o declinación de la fertilidad física en los Vertisoles se ha acentuado en los últimos años (Torres *et al.*, 2016). Medidas tales como la incorporación de materia orgánica reducen la tendencia de estos suelos a compactarse (Millán *et al.*, 2013).

En Cuba, los Vertisoles ocupan una superficie de alrededor de 695 000 ha, localizándose en casi todas las provincias (Hernández *et al.*, 2014). Son cultivados intensivamente con caña de azúcar y arroz. La producción ganadera, con pastos mejorados o pastizales naturales ocupa el 50% de la superficie cultivada sobre Vertisoles. En estos suelos predominan los problemas de mal drenaje y salinidad (Cid *et al.*, 2016).

Por las razones antes expuestas el objetivo de este trabajo es determinar, mediante un análisis multivariado, el efecto agrogénico del uso de la tierra sobre diferentes tipos de suelo.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el 2017 en tres puntos de observación permanentes de la provincia de Holguín, pertenecientes al proyecto 405 “Evolución de la fertilidad del suelo a largo plazo bajo diferentes tipos de usos y manejo”, del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Descripción de los puntos de observación permanentes pertenecientes a la provincia de Holguín.

Clave	Ubicación	Tipo de suelo (Hernández <i>et al.</i> , 2015)	Usos de la tierra
OPOP-1	Pinares de Mayarí	Ferrítico Rojo Oscuro	Caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) Pasto natural (<i>Andropogon bicornis</i> L., <i>Paspalum notatum</i> L. y <i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.) Bosque de pinos (<i>Pinus cubensis</i> Griseb.)
OPOP-2	Guaro	Vertisol Crómico	Caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) Pasto natural (<i>Andropogon bicornis</i> L., <i>Paspalum notatum</i> L.) Bosque de Neem (<i>Azadirachta indica</i> A. Juss)
OPOP-3	UEB Cristino Naranjo	Vertisol Pélico	Caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp. híbrido) Pasto natural (<i>Andropogon bicornis</i> L., <i>Paspalum notatum</i> L.) Bosque de casuarinas (<i>Casuarina equisetifolia</i> (L.)

Se determinó la densidad aparente y la humedad gravimétrica. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado con tres repeticiones en cada uno de los usos de los tres tipos de suelos, en los 27 sitios se tomaron las muestras a tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Las muestras inalteradas se tomaron con cilindros de 105,35 cm³ de volumen y se colocaron en pesafiltros. Se les determinó la masa de suelo húmedo y se pusieron en una estufa a 105°C, hasta que alcanzaron un peso constante (masa de suelo seco). Con los datos obtenidos se determinó la densidad aparente:

$$D_a = \frac{m_{ss}}{V} \quad (1)$$

Donde D_a es la densidad aparente, m_{ss} es la masa del suelo seco y V es el volumen del cilindro.

También se obtuvo la humedad gravimétrica, a partir de la ecuación:

$$\theta_g = \frac{m_{sh} - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (2)$$

Donde θ_g es la humedad gravimétrica; m_{sh} es la masa del suelo húmedo y m_{ss} es la masa del suelo seco.

Fue empleado el Análisis de Componentes Principales para identificar las variables que expliquen la mayor variabilidad de los datos. Posteriormente con el Análisis Discriminante se comprobó el grado de exactitud de los grupos y se buscaron diferencias entre estos grupos. En el análisis estadístico se utilizaron los softwares Statistica 7 y Statgraphics plus 5.0.

Resultados y Discusión

La Tabla 2 muestra que las tres primeras componentes explican un 35,76, 27,9 y 20,40% de

la varianza, respectivamente. Para un porcentaje acumulativo del 83,25% de la varianza, como resultado de la combinación lineal de las seis variables estudiadas. Los valores propios de las tres componentes estuvieron por encima de la unidad.

Se observa que la mayor variación (1^{ra} componente) está dada por la densidad del suelo y la humedad gravimétrica, ambas en la profundidad 40-60 cm. Mientras que la 2^{da} componente está dada por la densidad del suelo de 20-40 cm y la humedad gravimétrica de 20-40 cm. De la misma forma, en la 3^{ra} componente se agrupan la densidad del suelo de 0-20 cm y la humedad gravimétrica a la misma profundidad. En todas las componentes la contribución de la densidad del suelo a la varianza fue mayor que la de la humedad gravimétrica. También en las tres componentes existe contraposición entre dichas propiedades físicas, por lo que al aumentar la densidad aparente disminuye la humedad gravimétrica y viceversa. Además, se aprecia que la contribución de las propiedades físicas a la explicación de la varianza está influenciada por la profundidad, pues en la 1^{ra}, 2^{da} y 3^{ra} componentes aparecen la densidad del suelo y la humedad gravimétrica a las profundidades de 40-60, 20-40 y 0-20 cm, respectivamente.

Este comportamiento puede estar dado por el efecto del tipo de suelo, que parece ser mayor que el del uso de la tierra. Entre los 20-60 cm de profundidad aparecen los horizontes principales de diagnóstico férrico (horizonte A) y vértico (el horizonte puede ser A o B). A esta profundidad, además, es poco notable el efecto de la cobertura vegetal sobre el suelo, al contrario de lo que sucede en los primeros 20 cm de profundidad.

La Figura 1 muestra que existe una relación inversa (negativa) entre la densidad del suelo y la humedad gravimétrica en las mismas profundidades. De esto se deduce que con el incremento de la densidad del suelo

Tabla 2.- Vectores propios del análisis de componentes principales.

	1 ^{ra} componente	2 ^{da} componente	3 ^{ra} componente
Humedad gravimétrica 0-20	-0,086373	0,197386	-0,815028
Humedad gravimétrica 20-40	0,210518	-0,800411	0,128420
Humedad gravimétrica 40-60	-0,940216	0,206546	0,083767
Densidad aparente 0-20	0,067890	0,202979	0,876062
Densidad aparente 20-40	-0,007594	0,933603	0,116941
Densidad aparente 40-60	0,949291	0,053662	0,216063
Valor del eje	2,145497	1,625409	1,224294
Porcentaje total de la varianza (%)	35,76	27,09	20,40
Valor acumulativo del eje	2,145497	3,770906	4,995200
Porcentaje acumulativo de la varianza (%)	35,76	62,85	83,25

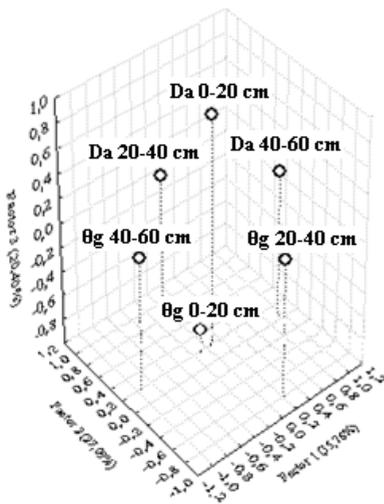


Figura 1.- Vectores propios de las variables físicas del suelo en las tres profundidades.

aumenta la compactación, lo que reduce el espacio poroso del suelo en general y el de los macroporos en particular. Lo cual disminuye la capacidad de permitir que el agua entre al suelo (infiltración), se mueva a través del perfil (permeabilidad) y se almacene de forma disponible en la zona radicular (retención).

De esta manera, al evaluar los procesos de compactación en un Vertisol bajo diferentes sistemas de manejo, en el estado de Falcón (Venezuela), Willians y Reyes (2014) encontraron que el espacio poroso total y la macroporosidad disminuyen con el incremento de la densidad del suelo. Además, observaron que la relación de la densidad aparente era directa con la condición de manejo *áreas de antiguos potreros* en la profundidad de 0-15 cm y con *áreas de cultivos semipermanentes y áreas altamente intervenidas* por la actividad agrícola en el horizonte de 15-30 cm. Este comportamiento negativo no se manifestó en *áreas en descanso o poco intervenidas por el hombre*, con cerca de 10 años sin alteraciones de las condiciones del suelo y con predominio de vegetación natural arbórea con el suelo bajo sombra y cubierto por un mantillo de vegetación.

La Tabla 3 muestra que el discriminante explica un 87,90% del total de la variación en los dos primeros ejes y que existen diferencias altamente significativas entre los grupos. Por lo cual, la diferencia está determinada por las variables que mayor contribución tienen en ambas funciones. La λ de Wilk se encuentra cercana a cero, lo que representa una discriminación

casi perfecta. Además, existe una alta correlación de los grupos que, al igual que en la λ de Wilk, se manifiesta fundamentalmente en la 1^{ra} función.

Tabla 3.-Evaluación de las funciones correspondientes al Análisis Discriminante.

	1 ^{ra} función	2 ^{da} función
Funciones discriminantes		
Valor del eje	17,8067	3,18393
Porcentaje relativo (%)	74,57	13,33
Correlación canónica	0,97305	0,87235
Funciones derivadas		
λ de Wilk	0,00207355	0,0389966
Chi cuadrado	114,3021	60,0192
Grados de libertad	48	35
Significancia	0,0000	0,0053

La Figura 2 muestra una clara distinción entre los grupos, por lo que los datos derivados de los grupos pueden ser utilizados en evaluaciones del comportamiento de las propiedades físicas de estos suelos bajo diferentes usos de la tierra.

Las diferencias entre los grupos (usos de la tierra) que conforman el tipo Ferrítico Rojo Oscuro con respecto a los que configuran ambos tipos de suelos Vertisoles probablemente se deban a la composición de los minerales arcillosos caoliníticos y montmorilloníticos, respectivamente.

El efecto diferenciador del uso de la tierra dentro de cada uno de los tres tipos de suelos puede estar dado por los contrastes en el contenido, composición y forma de deposición de la materia orgánica. En un estudio realizado en suelos Inceptisoles dedicados a actividades agropecuarias, en el estado de Barinas (Venezuela) se encontró una relación lineal e inversa entre el contenido de materia orgánica y la densidad del suelo (Cairo *et al.*, 2017).

También al estudiar el cambio de algunas propiedades por el efecto del cultivo continuado en suelos Pardos, Húmicos Calcimórficos y Fluvisoles, ubicados en una microcuenca de la provincia de Manabí, Ecuador, se observó que independientemente del tipo de suelos, los cambios en el uso de la tierra provocan variaciones en aquellas propiedades del suelo que varían en un plazo de tiempo relativamente corto (características morfológicas) y en otras propiedades físicas, como la densidad del suelo (Hernández *et al.*, 2017).

Por otra parte, al evaluar la densidad del suelo en un Vertisol bajo agroecosistemas de caña de azúcar,

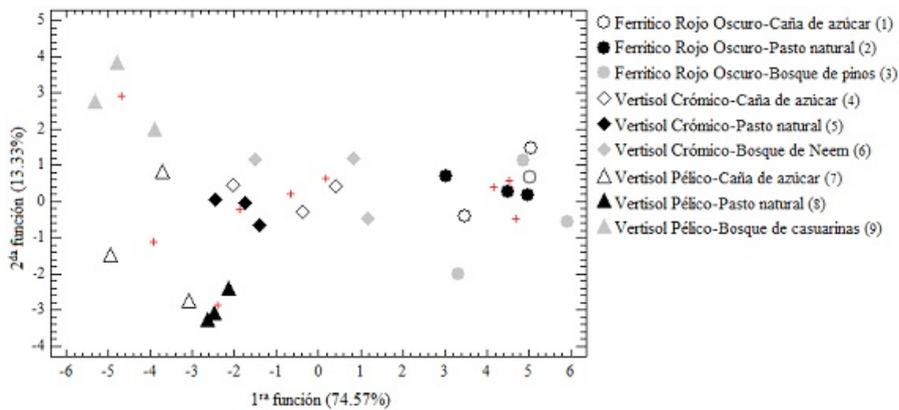


Figura 2.- Distribución de los grupos en el Análisis Discriminante.

pastos y selva mediana perennifolia encontraron contrastes ortogonales altamente significativos y que, en el caso de la caña de azúcar, la densidad del suelo tendía a incrementarse con el ciclo del cultivo (Sánchez *et al.*, 2003).

De la misma forma, se encontró en la región de la Pampa que diferentes prácticas de manejo comparadas con áreas de pastizales sin influencia antrópica provocaron el deterioro de los niveles de carbono orgánico total, independientemente del tipo de suelo, por la influencia de la actividad agrícola. Lo que incidió en el aumento de la densidad del suelo y la disminución de la porosidad total, principalmente por el menor volumen de macroporos, los cuales disminuyeron en un 12% como promedio (Duval *et al.*, 2015).

La Tabla 4 muestra el modelo de respuesta, que explica el 85,19% del incremento o porcentaje de buena clasificación (PBC). En cuatro de los nueve grupos se encontraron casos no válidos, cuando el

análisis discriminante estimó que no pertenecen a los grupos en los que se clasificaron (grupos observados). En la matriz se aprecia que los casos no válidos fueron mal clasificados dentro de los usos de la tierra pero no con respecto al tipo de suelos.

De esta forma, en el Ferrítico Rojo Oscuro, se clasificó dentro del uso caña de azúcar un individuo que pertenecía al uso pasto natural. En el bosque de pinos también se encontró un caso no válido que clasificó dentro de la caña de azúcar.

En el Vertisol Crómico un solo caso no válido, que se clasificó dentro del uso caña de azúcar, se estimó por el análisis discriminante que pertenece al uso pasto natural. Mientras que en el Vertisol Pélico, un individuo se categorizó dentro del pasto natural y se estimó que pertenecía al uso caña de azúcar.

De los cuatro casos no válidos, tres se clasificaron como caña de azúcar y se estimaron

Tabla 4.- Matriz de clasificación para los tres tipos de suelos bajo tres usos de la tierra.

Grupos observados	Porcentaje de buena clasificación	Grupos estimados								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	66,67	2	1							
2	100,00		3							
3	66,67	1		2						
4	66,67				2	1				
5	100,00					3				
6	100,00						3			
7	100,00							3		
8	66,67								1	2
9	100,00									3
Total	85,19	3	4	2	2	4	3	4	2	3

como pasto natural, o viceversa. Las dificultades en la correcta clasificación de los individuos pertenecientes los usos caña de azúcar y pasto natural pueden estar dadas por las similitudes entre ambos usos en cuanto al tipo de vegetación (gramíneas) que determina la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo, a pesar de las diferencias en cuanto a las labores agrícolas y a la existencia continuada de un mismo cultivo en cada uno de estos usos (Cairo y Fundora, 2005).

Estas diferencias se ven también acentuadas por el origen, distribución y composición de la materia orgánica. En el caso de la caña de azúcar los restos vegetales que se depositan en el suelo provienen en gran medida de la parte aérea de las plantas, donde las hojas poseen un alto contenido de lignina, lo cual dificulta la descomposición por parte de los microorganismos del suelo.

Conclusiones

En el Análisis de Componentes Principales, las tres primeras componentes realizan la mayor contribución a la varianza, con un 83,25% de la varianza total. Los mayores aportes a la varianza total ocurren en las mayores profundidades, que coincide con los horizontes principales de diagnóstico. La 3ª componente, que agrupa a la densidad aparente y la humedad gravimétrica en el horizonte superficial, está influenciada por los cambios en el uso de la tierra.

El Análisis Discriminante explica un 87,90% del total de la variación en los dos primeros ejes, con 23 casos válidos y cuatro no válidos, para un 85,19% de buena clasificación, con todos los grupos bien diferenciados entre sí. Los casos no válidos se concentran dentro de cada tipo de suelo entre los usos de la tierra caña de azúcar y pasto natural.

Literatura citada

- Batey, T.
2009. Soil compaction and soil management- a review. *Soil Use and Management*, 25: 335-345.
- Cairo Cairo P.; Fundora Herrera O.
2005. Edafología. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 382 p.
- Cairo Cairo P.; Reyes Hernández, A.; Aro Flores, R.V.; Robledo Ortega, L.
2017. Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40 (2): 127-134.
- Cid Lazo, G.; Herrera Puebla, J.; López Seija, T.; González Robaina, F.
2016. Resultados de algunas investigaciones en suelos Vérticos de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 6 (2): 51-56.
- Cuéllar, I.; Villegas, R.; de León, M.; Pérez, H.
2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Ediciones Publica. La Habana, Cuba, 127 p.
- Duval, M.E.; Galantini, J.A.; Martínez, J.M.; López, F.M.; Wall, L. G.
2015. Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas*, 25: 33-43.
- Gutiérrez Rodríguez, F.; Vaca García, V.M.; Pérez López, D. de J.; Franco Mora, O.; Rubí Arriaga, M.; Castañeda Vildózola, Á.; Morales Rosales, E. J.
2014. Compactación mecánica en suelos Vertisol. *Ciencias Agrícolas Informa*, 2 (2): 7-21.
- Hernández Jiménez, A.
2004. Impacto de los cambios globales en los suelos de las regiones secas. *Agricultura Orgánica*, 2: 8-9.
- Hernández Jiménez, A.; Llanes Hernández, V.; López Pérez, D.; Rodríguez Cabello, J.
2014. Características de Vertisoles en áreas periféricas de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 35 (4): 68-74.
- Hernández Jiménez, A.; Pérez Jiménez, J.M.; Bosch Infante, D.; Castro Speck, N.
2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de Las Lajas, Cuba. 91 p.
- Hernández Jiménez, A.; Vera Macías, L.; Naveda Basurto, C. A.; Guzmán Cedeño, Á.M.; Vivar Arrieta, M.; Zambrano, T.R.; Mesías Gallo, F.; Ormanza, K.; León Aguilar, R.V.; López Alava, G.A.
2017. Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38 (1): 50-56.
- Millán, E.; Fera, M.E.; Díaz, F.D.; Millán, C.A.
2013. Incorporación de biomasa en un suelo Vertisol y su relación con la densidad de compactación. *Temas Agrarios*, 18 (1): 57-65.
- Paz González, A.; Aparecida de Abreu, C.; Tarquis, A.M.; Medina Roldán, E.
2014. Impacts of land use changes on soil properties and processes. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-2.
- Rodríguez González, A.; Arcia Porrua, J.; Martínez Cañizares, J.A.; García Lamas, J.; Cid Lazo, G.; Fleites Castro, J.
2015. Los sistemas de labranza y su influencia en las propiedades físicas del suelo. *Ingeniería Agrícola*, 5 (2): 55-60.
- Sánchez Vera, G.; Obrador Olan, J.J.; Palma López, D.J.; Salgado García, S.
2003. Densidad aparente en un Vertisol con diferentes agrosistemas. *Interciencia*, 28 (6): 347-351.

Torres Guerrero, C.A.; Gutiérrez Castorena, M. del C.; Ortiz Solorio, C.A.; Gutiérrez Castorena, E. V.
2016. Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana*, 34 (4): 457-466.

Willians, J.; Reyes, R.
2014. Procesos de compactación en un suelo Vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 26 (1): 39-48.

