

IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALIDADES Y LIMITACIONES DE SUELOS AGRÍCOLAS DEL ESTADO LARA, VENEZUELA

Duilio Torres¹, Jhosep Álvarez¹, Jorge Contreras¹, Manuel Henríquez^{1†}, Wilmer Hernández¹, Javier Lorbes² y José Pastor Mogollón³

RESUMEN

El Departamento de Química y Suelos de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, en el centro occidente de Venezuela, posee una de las bases de datos más importante de los suelos de la región. Sin embargo, la misma no ha sido empleada para identificar los factores edáficos que afectan la producción agrícola. El objetivo de este trabajo fue identificar las principales limitaciones y potencialidades de suelos de una de las principales zonas agrícolas del estado Lara. Para ello se analizaron datos de pH, conductividad eléctrica (CE) materia orgánica (MO), contenidos de arcilla, limo, arena, fósforo, calcio, magnesio, potasio y aluminio, correspondientes a un periodo de 20 años. Los datos fue georreferenciados, tomando como base un mapa 1:100.000 y ubicando en el mismo la zona baja de la depresión de Quíbor y la zona de piedemonte. A partir de estudios previos se construyeron categorías de calidad de suelos para la clasificación de cada una de las variables evaluadas y se realizó un análisis de componentes principales para estudiar la distribución de las muestras en función de dichas variables. Los resultados señalan que los suelos de las zonas de piedemonte presentaron valores altos de fósforo y materia orgánica, siendo sus principales limitaciones, bajos valores del pH y altos valores de aluminio cambiante, mientras que los suelos de las zonas bajas, presentaron una alta disponibilidad de nutrientes, pero limitaciones por los altos valores de limo, arcilla y CE, los cuales conllevan a problemas de encostramiento, sellado superficial, erosión y afectación por sales.

Palabras clave adicionales: Calidad de suelos, degradación, zonificación agrícola

ABSTRACT

Potentialities and limitations of agricultural soils in Lara State, Venezuela

The Chemistry and Soil Department of the Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, in the center western of Venezuela, has one of the most important soil database of the region; however, it has not been used to identify the edaphic factors affecting agricultural production. The objective of this study was to identify main soil constraints and potentials from the principal agricultural areas of the Lara State. Data from pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), content of clay, silt, sand, phosphorus, calcium, magnesium, potassium and aluminum of 20 years period were analyzed. The data were georeferenced on a 1:100,000 base map and locating on it, the Quíbor depression plain and the piedmont areas. By using previous studies, soils quality categories were developed for classification of each of the evaluated variables and an analysis of their main components was performed, to study the samples distribution as a function of those variables. Results indicate that soils of piedmont areas presented high values of P and OM, being its main limitation low pH and high Al values, while soils from low areas, presented a high nutrient availability, but limitations resulting from their high silt and clay content, and EC values, which become on problems of surface sealing, crusting, erosion and salt affectation.

Additional key words: Agriculture zonification, degradation, soil quality

INTRODUCCIÓN

Para una adecuada planificación de los procesos productivos agrícolas, es necesario disponer de información oportuna y de calidad del

clima y suelos, con la finalidad de identificar las limitaciones y potencialidades edáficas que pueden limitar la capacidad productiva de los cultivos. En Venezuela, Brito (2011) y Rey et al. (2012) señalan que se han desarrollados algunas

Recibido: Septiembre 2, 2016

Aceptado: Junio 19, 2017

¹ Dpto. de Química y Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: duiliotorres@ucla.edu.ve

² Dpto. de Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

³ Dpto. de Ambiente y Tecnología Agrícola, Universidad Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Coro, Venezuela. e-mail: jmogollon15@gmail.com

iniciativas para la organización de información de suelos, entre las que se encuentran SITVEN (Sistema de Información de Tierras de Venezuela), SISDELAV (Sistema de Información de Suelos de la Depresión del Lago de Valencia) y SIACARG (Sistema de Información Ambiental de la Cuenca Alta del Río Guárico). Sin embargo, en la región centroccidental, no existe información con suficiente detalle sobre las condiciones de degradación de suelos que limitan la productividad agrícola.

El almacenamiento y procesamiento de la información de suelo, permitirá realizar proyecciones, simular escenarios, construir sistema de información geográfica y desarrollar modelos de simulación, para describir el comportamiento del mismo en función de sus manejos y relaciones con otros elementos bióticos y abióticos (Candelaria et al. 2011). Adicionalmente, a partir de las bases de datos de suelos, se puede realizar un seguimiento histórico del comportamiento del mismo en función de las prácticas de fertilización, mecanización y aplicación de agroquímicos, es por ello que adicional a la información de los parámetros que se registran en las bases de datos es importante que las muestras estén georreferenciadas y se documente el manejo agronómico del predio.

La importancia del manejo de datos en la depresión de Quíbor, es que la misma es la zona hortícola más importante del país (Jaurixje et al., 2013; Mendoza et al., 2013) y la zona de piedemonte es un área estratégica para la protección de las cuencas hidrográficas, las cuales son fundamentales para impulsar el desarrollo agrícola y agroindustrial de la región (Goldstein et al., 2012), además la zona es productora de café y hortalizas de piso alto como la papa (Torres et al., 2012). Aunque en la depresión de Quíbor y en la zona de piedemonte han sido documentados problemas de degradación física de suelo (Reyes et al., 2010), afectación por sales (Mogollón et al., 2016), contaminación por agroquímicos (Pierre y Betancourt, 2007), erosión (Quiñones y Dal Pozzo, 2008) y acidificación (Pérez et al., 2011), sin embargo, las limitaciones y potencialidades de estas tierras no han sido cuantificadas a pesar de contar con un registro amplio de información de suelos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar las limitaciones y potencialidades de los suelos de la depresión de

Quíbor y el piedemonte del estado Lara a partir del análisis de los datos recolectados por la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, lo cual servirá de apoyo para la adecuada toma de decisiones por parte de los planificadores y productores agrícolas de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la creación de la base de datos se usaron 192 registros de análisis de suelos con fines de fertilidad, los cuales corresponden a la información recopilada en la Unidad de Investigación en Suelo y Nutrición Mineral de Plantas (UISNMP) del Decanato de Agronomía de la Universidad Lisandro Alvarado (UCLA) para el periodo comprendido entre 1990-2010. Los suelos se separaron en dos grupos en función de la topografía: los ubicados en la depresión de Quíbor, es decir, la zona plana, y la zona de piedemonte, que corresponde al área montañosa de los municipios Iribarren, Jiménez, Moran y Andrés Eloy Blanco (Figura 1).

Los datos corresponden a análisis con fines de fertilidad, por lo cual se consideran los primeros 30 cm de profundidad. En ambas zonas se registraron los contenidos de arcilla, arena, limo, pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y disponibilidad de fósforo, potasio, calcio, magnesio y aluminio intercambiable.

La depresión de Quíbor se encuentra en una zona de vida de bosque seco muy tropical con régimen de precipitaciones bimodal con un período húmedo hacia mayo-junio y otro hacia octubre-noviembre (SHYQ, 2006). Los suelos presentan un micro relieve plano, con texturas pesadas, alta conductividad eléctrica y baja estabilidad estructural (Pérez et al., 1995). Por su parte, la zona de piedemonte presenta precipitaciones superiores a 1000 mm anuales y se clasifica como bosque húmedo premontano. Los suelos presentan pendientes de 15 a 20 %, con altos riesgos de erosión, su textura es arcillosa, con alto contenido de materia orgánica, ácidos y con alto contenido de aluminio intercambiable, con valores cercanos a $3,2 \text{ meq} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (Lozada, 1997).

Para la valoración de los parámetros de suelos e identificar las limitaciones y potencialidades, se construyó una escala de valoración tomando como referencia trabajos previos de Torres et al. (2006),

Jaurixje et al. (2013) y Mendoza et al. (2013). Se generaron dos categorías: la primera, considerada ideal, la cual no tendría restricciones para la producción agrícola por presentar valores cercanos a las condiciones naturales de la zona y una segunda categoría que representa restricciones severas que pueden conllevar al deterioro de la

calidad del suelo (Cuadro 1).

Posteriormente, se procedió ubicar cada uno de los datos recolectados en las categorías construidas y se calculó la frecuencia relativa de cada variable con el propósito de determinar las potencialidades y limitaciones para cada una de las zonas evaluadas.

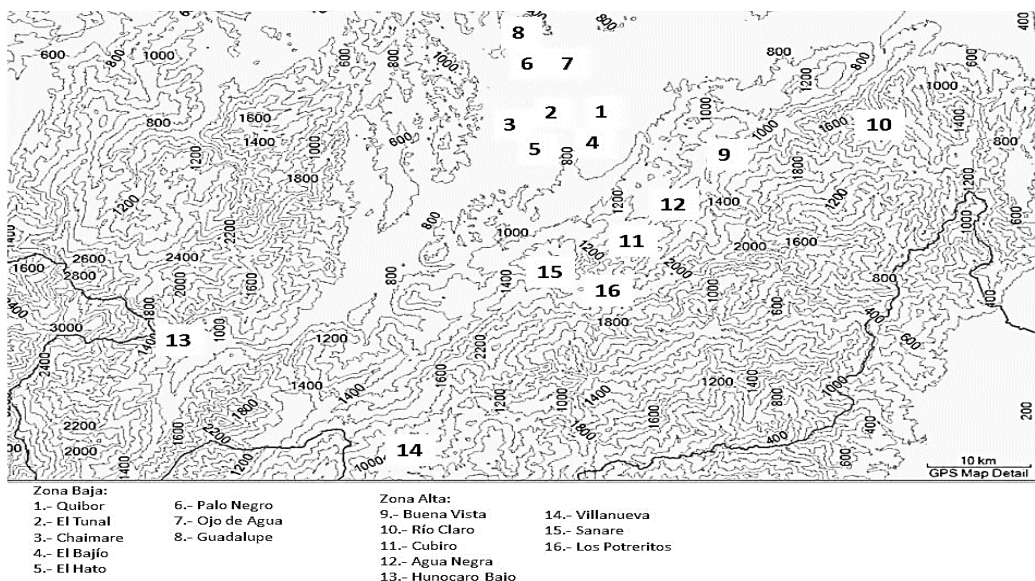


Figura 1. Ubicación de muestras de suelos provenientes de dos zonas agrícolas del estado Lara. A) Depresión de Quíbor: Quíbor, El Tunal, Chaimare, El Bajío, El Hato, Palo Negro, Ojo de Agua y Guadalupe. B) Piedemonte: Buena Vista, Río Claro, Cubiro, Agua Negra, Humocaró, Villanueva, Sanare y Los Potreritos

Cuadro 1. Categorización de variables edafológicas en suelos agrícolas del estado Lara

Variable	Condición ideal	Restricción severa
Arcilla (%)	20-30	>50
Limo (%)	10-20	>40
Arena (%)	20-30	>50
Materia orgánica (g·kg ⁻¹)	>25,0	<25,0
Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹)	<4,0	>4,0
pH	7,0-7,5	>7,5 (alcalino); <4,5 (ácido)
Fósforo (mg·kg ⁻¹)	>40	<40
Potasio (mg·kg ⁻¹)	>200	<200
Calcio (mg·kg ⁻¹)	1000-1500	>1500 (calcáreo)
Magnesio (mg·kg ⁻¹)	>200	<200
Aluminio (meq·100g ⁻¹)	<0,5	>1,5

Los datos fueron evaluados mediante un análisis de componentes principales, con el objeto de determinar la distribución de los grupos en función de la procedencia de la muestra, así como definir qué variables están determinando dicha separación y discutir sobre las causas de este agrupamiento. Para este fin, se utilizó el paquete

estadístico Infostat, versión 1.0 (Universidad de Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, los suelos de la depresión de Quíbor se caracterizaron por altos valores de

conductividad eléctrica y bajo contenido de MO y P (Cuadro 2) mientras que los suelos del piedemonte presentaron valores altos de MO, P y Al (Cuadro 3). La frecuencia relativa de cada variable en las dos zonas estudiadas se presenta en el Cuadro 4; el hecho de que en el cuadro la suma de las variables texturales no totalizan 100 se debe que varios suelos presentaron valores no contemplados dentro de las categorías establecidas.

Textura. La mayoría de los suelos de la depresión de Quíbor presentan texturas arcillosas (Cuadro 5), el 20,16 % poseen contenidos de arcilla superiores al 50 %, lo cual incrementa la susceptibilidad del suelo al encharcamiento, limita la infiltración del agua y favorece el escurrimiento, condiciones que favorecen los procesos erosivos, principalmente la formación de cárcavas (Toledo, 2013).

Cuadro 2. Valores promedios correspondiente a muestras de suelos de la zona plana depresión de Quíbor para el periodo 1990-2010

Localidad	A	L	a	MO	CE	pH	P	K	Ca	Mg
Quíbor	31,00	49,67	19,33	16,70	1,76	7,89	26,19	58,16	6294	435
El Tunal	33,31	48,13	20,56	12,20	1,69	7,71	23,33	83,71	6253	416
Chaimare	34,20	46,12	19,68	14,23	1,88	7,58	21,16	107,26	6018	408
El Bajío	36,00	47,50	16,50	21,00	1,09	7,73	24,32	152,00	6975	214
El Hato	31,10	46,00	22,69	27,00	1,17	7,73	23,17	124,56	7826	198
Palo Negro	39,00	44,50	16,50	22,50	1,75	7,65	37,50	252,50	7200	558
Ojo de Agua	39,50	44,83	11,67	20,30	1,68	7,55	35,17	294,00	5878	482
Guadalupe	45,00	15,00	40,00	18,00	2,10	7,30	42,00	324,00	5400	730

A: arcilla (%); L: limo (%); a: arena (%); MO: materia orgánica ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); CE: conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$); P: fósforo ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); K: potasio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Ca: Calcio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Magnesio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Aluminio ($\text{meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)

Cuadro 3. Valores promedios correspondiente a muestras de suelos de piedemonte del estado Lara para el periodo 1990-2010

Localidad	A	L	A	MO	CE	pH	P	K	Ca	Mg	Al
Buena Vista	29,67	40,00	30,33	58,00	0,53	4,60	53,00	118,00	2183	142	3,40
Rio Claro	31,49	32,13	36,38	52,10	0,19	5,06	48,38	51,25	1862	211	0,78
Cubiro	37,00	36,50	26,50	35,00	0,33	4,60	16,50	125,00	625,00	56,50	0
Agua Negra	42,00	40,00	18,00	32,00	0,55	4,30	88,00	238,00	750,00	113	0,8
Humocaro	38,25	26,75	35,00	39,50	0,43	5,95	63,75	141,00	1650	189	1,55
Villanueva	32,50	40,00	27,50	55,00	0,10	3,85	144,00	225,00	250,00	41,50	3,25
Sanare	33,66	31,67	34,67	32,30	0,16	5,37	28,33	199,67	1370	359	0,50
Potreritos	31,00	33,00	36,00	33,60	0,46	4,48	97,98	436,60	1842	171	0

A: arcilla (%); L: limo (%); a: arenen (%); MO: materia orgánica ($\text{g}\text{ kg}^{-1}$); CE: conductividad eléctrica (dS m^{-1}); P: fósforo ($\text{mg}\text{ kg}^{-1}$); K: potasio ($\text{mg}\text{ kg}^{-1}$); Ca: calcio ($\text{mg}\text{ kg}^{-1}$); Mg: magnesio ($\text{mg}\text{ kg}^{-1}$); Aluminio ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$)

Cuadro 4. Frecuencias relativas (%) de variables de suelos de dos regiones agrícolas del estado Lara para el periodo 1990-2010

Variable	Depresión de Quíbor		Zona de piedemonte	
	Ideal	Restricción severa	Ideal	Restricción severa
Arcilla	24,32	20,16	40,16	16,66
Limo	6,18	50,42	8,33	33,33
Arena	42,32	2,54	33,33	29,16
MO	35,80	64,20	16,67	83,33
CE	91,79	8,21	100	0
pH	35,28	44,32 (alcalino); 20,40 (acido)	50,00	0,00 (alcalino); 50,00 (acido)
Fósforo	41,58	58,42	54,17	45,83
Potasio	95,32	4,68	20,84	79,16
Calcio	0	100 (calcáreo)	48,32	31,66
Magnesio	88,58	11,42	66,66	33,34
Aluminio	100	0	20,83	66,66

Por su parte, en la zona de piedemonte el 16,66 % de los suelos posee contenidos altos de arcilla, lo que incrementa el escurrimiento del agua de lluvia. En esta zona, el cambio de uso de la tierra de cafetales a cultivos hortícolas puede incrementar los riesgos de erosión (Quiñones y Dal Pozzo, 2008).

En la depresión de Quíbor se observó que 50,42 % de las muestras presentaron contenidos altos de limo, lo cual puede generar limitaciones para la infiltración de agua; así mismo, el bajo contenido de materia orgánica confiere al suelo una estructura débil, lo cual favorecería procesos de sellado y encostramiento debido a la alta susceptibilidad a la separación de las partículas de suelo (Pulido et al., 2009).

En la zona del piedemonte, 33,33 % de los suelos presentó alto contenido de limo, lo cual puede crear condiciones de baja estabilidad estructural que favorecería la desagregación del suelo, frente al impacto de la gota de lluvia lo cual, a su vez, puede favorecer los procesos erosivos, potenciados por las altas pendientes de la zona. En zonas sin problemas de erosión se ha observado una mayor proporción de arcilla en relación al limo, ha sido asociado con una mayor estabilidad de los agregados, lo cual reduce la erodabilidad del suelo (Dlamini, 2011), mientras que cuando predominan partículas de limo, los suelos presentan mayores riesgos de erosión (Yılmaz et al., 2008).

En la zona plana sólo el 2,54 % de las muestras presentaron contenidos de arena superior al 50 %, lo que representa limitaciones para la retención de humedad, incrementos en los riesgos de lixiviación de agroquímicos y menor retención de agua disponible para los cultivos. Condiciones similares a las observadas en la depresión de Quíbor han sido reportadas en algunas regiones semiáridas venezolanas como la planicie de Coro y la Península de Paraguaná, donde la presencia de suelos arenosos incrementan las condiciones de estrés hídrico, conllevando a realizar prácticas como el uso de acondicionadores sintéticos de suelo (Lobo et al., 2010).

En la zona de piedemonte, 29,16 % de los suelos presentan alto contenido de arena. Los suelos arenosos, en zonas con mayor precipitación a la observada en las zonas semiáridas de la depresión de Quíbor, incrementan los riesgos de lixiviación de nutrientes, lo cual disminuye la

fertilidad del suelo y conllevan a su acidificación por la pérdida de cationes como el Ca y el Mg (Martins et al., 2014), pero también incrementan los riesgos de lixiviación de agroquímicos, lo cual podría llevar a problemas de salud pública en las áreas aledañas (Hall et al., 2015).

Materia orgánica. En la depresión de Quíbor más del 60 % de las muestras presentan un contenido de MO inferior a $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo cual se corresponde a las características de zonas áridas, donde las escasas precipitaciones y la baja producción de biomasa vegetal, conllevan a menores aportes de materia orgánica en el suelo. No obstante 35,80 % de la muestra presentan valores de materia orgánica superior a $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, las muestras con valores altos de materia orgánica corresponden probablemente a zonas que llevan largo periodo de tiempo bajo fertilización orgánica o bajo vegetación natural. Mogollón et al. (2015) encontraron valores de carbono orgánico superiores a $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ en zonas semiáridas de la península de Paraguaná, las cuales estaban ubicadas bajo Bosque con *Prosopis juliflora* y *Cercidium praecox*.

En la zona de piedemonte el 80 % de las muestras presentan valores de materia orgánica superiores a $25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Torres et al. (2012) atribuyen estos resultados al aporte de la hojarasca en los predios bajo cultivo del café (*Coffea arabica*) bajo sombra y la fertilización con abonos orgánicos provenientes de los residuos del café, asimismo en la zona el manejo de los agroecosistemas es menos intensivo, lo que contribuye a la conservación de suelo y por tanto a mantener estables los contenidos de materia orgánica. Sin embargo, 20 % de las muestras presentan contenidos de materia orgánica inferiores a $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo cual puede deberse a los procesos erosivos favorecidos por las altas pendientes de las zonas, precipitaciones con alto poder erosivo y escasa cobertura vegetal, por la sustitución del cultivo del café por cultivos hortícolas (Quiñonez y Dal Pozzo, 2008).

Conductividad eléctrica. Se encontró que 91,79 % de las muestras provenientes de la depresión de Quíbor presentan valores menores a $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que 8,21 % presenta valores superiores a ese valor, lo cual sugiere que los suelos tendrán afectación por la presencia de sales. En la zona de piedemonte los suelos no fueron afectados por sales, al observarse que todas las muestras

analizadas presentaron valores de CE menores a $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Al-Ismaily y Al-Maktoumi (2011) en la región de Al-Batinah, en Omán, han reportado valores de CE que van desde $0,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ hasta valores extremadamente salinos por encima de $54 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Estos autores señalan que en el piedemonte de esa región predominan suelos con texturas gruesas y, por lo tanto, ocurre un lavado de los cationes, mientras que los suelos formados en la planicie poseen valores de sales más altos, especialmente los Salorthids, donde predominan sales más solubles que el yeso.

pH. El 44,32 % de los suelos de la depresión de Quíbor presentan pH alcalino, mientras que 20,40 % de los suelos son ácidos. El resto presenta valores adecuados. Los valores altos de pH son explicados por las bajas precipitaciones que impiden el lavado de las bases, lo cual se refleja en un mayor contenido de Ca, Mg y K en el suelo, así como el predominio de material parental de origen calcáreo.

En la zona de piedemonte, el 50 % de los suelos presentan pH ácidos, mientras que no se observaron suelos alcalinos. Lozada et al. (2014) señalan que la disminución del pH es consecuencia del intenso lavado de las bases (Na, K, Ca y Mg) producto de las intensas precipitaciones, lo que genera aumento del H y Al. Torres et al. (2012) reportaron valores de aluminio de $3,52 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ en suelos del piedemonte larense. Gunsé et al. (2003) afirman que la presencia del Al tiene efecto tóxico en las plantas al producir daños en la membrana plasmática y afectar la elongación celular.

Disponibilidad de nutrientes. Los suelos de la depresión de Quíbor presentan una alta disponibilidad de bases cambiables, como K, Ca y Mg, pero bajo contenido de algunos nutrientes como el P. Se observó que 58,42% de los suelos presentan bajo contenido de este nutriente, lo cual está relacionado a los bajos contenidos de MO y la fijación de P como fosfato tricalcico. Por su parte, el 41,58 % de los suelos presentaron valores altos de P, producto de la aplicación de elevadas dosis de fertilizantes fosfatados, los cuales tienden acumularse en suelos de textura arcillosa como los predominantes en la zona (Torres et al., 2009).

En la zona de piedemonte 54,17 % presentaron valores óptimos de P, el incremento del mismo, es explicado por un mayor contenido de materia

orgánica, debido a un mayor aporte de biomasa, sin embargo, en estas zonas 45,83% presentaron valores bajos de P, posiblemente por el lavado de bases que conllevan al desplazamiento del Ca y el Mg del suelo, el cual es sustituido por el Al, que produce la fijación del P, haciendo que este no sea disponible para las plantas (Torres et al., 2012).

En el caso del K, se encontró que en la depresión de Quíbor 95,32 % de los suelos presentan valores altos de éste nutriente, mientras que solo 4,68 % presentan baja disponibilidad del mismo. Los valores elevados de K, están relacionados a la mineralogía predominante en la depresión de Quíbor, donde abundan arcillas del tipo illita (Rodríguez, 1991). Por el contrario, en la zona de piedemonte 79,16 % de los suelos presentan valores bajos de K, disminución que puede ser debida a los procesos de lavado de nutrientes y al predominio de arcillas de tipo 1:1, que predominan en la zona y que le confieren a los suelos una baja CIC. Guédez y Pérez (1996) en la zona alta de Lara reportaron valores bajos de bases cambiables con una capacidad de intercambio catiónico que fluctuó entre 12 y 15 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Con respecto al Ca y Mg, se observó que 100 % de los suelos de la depresión de Quíbor presentan valores altos de Ca y valores óptimos de Mg. En las zonas áridas, a escala global predominan suelos calcáreos o yesíferos, lo cual está condicionado además del material parental, por las condiciones climáticas de las zonas. Los suelos calcáreos han sido reportados en la Península de Paraguaná (Mogollón et al., 2014) y la Depresión de Quíbor en Venezuela (Torres et al., 2014), mientras que los suelos yesíferos han sido reportados en la zona de Espartales en España (Maestre et al., 2013); todas estas zonas se caracterizan por presentar alto contenido de calcio, magnesio pH alcalinos y en algunos casos alto contenido de sales.

En la zona de piedemonte 31,66 % de las muestras presentan valores bajos de Ca y 33,34 % presentaron valores bajos de Mg, la disminución de las bases cambiables ocurren por la lixiviación de nutrientes producto de precipitaciones más elevadas en comparación a la zonas áridas, el lavado de la base han conllevado al incremento del aluminio intercambiable, el cual ocasiona la fijación de P, haciéndolo no disponible, además de ser tóxico para las plantas En la zona alta de Lara

Torres et al. Potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del estado Lara

Guédez y Pérez (1996) y Torres et al. (2012) han reportado valores de aluminio intercambiable superiores a $3 \text{ meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$.

El comportamiento de las variables de suelos, procedentes de la depresión de Quíbor y el piedemonte del estado Lara, puede ser explicada por factores como: relieve, geología, clima y manejo. Para observar el agrupamiento de las muestras de suelo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Se observó que el 72,4 % de la variación de los datos fueron explicados por los dos primeros componentes, teniendo mayor importancia los dos primeros con 51,3 y 21,1 % respectivamente.

Al analizar los componentes de mayor variación (1 y 2) se encontró que en el componente 1, la CE, MO, pH, Ca, Mg, Al y P,

fueron las variables más importantes en explicar la separación de los grupos de suelo al presentar las correlaciones más altas con el componente 1 (Cuadro 5). Estas correlaciones sugieren que los suelos que presentan altos valores de MO, presentan bajos valores de CE, por lo que la incorporación de abonos orgánicos sería una alternativa viable para la reducción de la salinidad en la depresión de Quíbor. Mientras que en el componente 2, las variables que mejor explicaron la variación de los datos fueron: el contenido de limo y arcilla (Cuadro 6) al presentar las correlaciones más altas con el componente 2. En la depresión de Quíbor el alto contenido de limo, está asociado a problemas de degradación física como sellado y encostramiento, compactación y baja infiltración de agua en el suelo.

Cuadro 5. Correlaciones con las variables originales del correspondiente análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de dos zonas agrícolas del estado Lara

	Arena	Limo	Arcilla	pH	CE	MO	P	K	Ca	Mg	Al
CP1	-0,58	0,40	0,27	0,95	0,91	-0,92	-0,72	-0,10	0,91	0,75	-0,75
CP2	-0,49	0,82	-0,72	0,06	-0,15	0,16	-0,17	-0,71	0,14	-0,49	0,21

Al analizar el agrupamiento de las localidades y la dirección y magnitud de los vectores (Figura 2), se observa que los suelos de la depresión de Quíbor están fuertemente influenciados por valores altos de CE, pH y contenido de Ca y Mg, como se observa a lo largo del componente 1, mientras que los suelos de piedemonte están asociados a valores altos de P, MO y Al intercambiable. En el componente 2 se observó que una de las variables con mayor peso en explicar la separación de los grupos fue el contenido de limo; los valores altos de esta variable se asociaron a las localidades ubicadas en la depresión de Quíbor. Reyes (2010), señala que los suelos de la serie Quíbor poseen un predominio de partículas de limo, los cuales predisponen a estos suelos a la formación de un sello superficial y a mayores riesgos de compactación subsuperficial.

El comportamiento de los suelos es similar al de otras regiones agrícolas venezolanas ubicadas en zonas áridas, donde se ha observado que la salinización y alcalinización de los suelos es una característica común, producto del ensanchamiento de la frontera agrícola, la sobreexplotación de acuíferos y el riego con agua de mala calidad

(Rodríguez et al., 2009; Fernández et al., 2011). En la zona de piedemonte, el comportamiento coincide con lo reportado por Torres et al. (2012), quienes señalaron que las mismas se caracterizan por presentar valores altos de materia orgánica, producto de la descomposición de la hojarasca, pero con valores altos de aluminio por el desplazamiento del calcio y el magnesio en los procesos de lixiviación.

Si bien los suelos de la depresión de Quíbor y la zona de piedemonte presentan limitaciones y potencialidades para la producción agrícola las cuales son generadas por los procesos pedogenéticos influenciados por el clima, el relieve y el material parental, el uso de la tierra puede conllevar a un deterioro progresivo de la calidad del suelo. Diversas investigaciones llevadas a cabo tanto en la depresión de Quíbor como en el piedemonte larense demuestran el efecto de la intensidad de uso y manejo sobre el comportamiento del suelo (Cuadros 6 y 7).

El tipo de uso de la tierra no afectó el pH del suelo, lo cual coincide por lo reportado por Moges et al. (2013), quienes no encontraron cambios en esta variable. En la zona árida no es común observar cambios en el pH debido a la naturaleza

alcalina de los suelos. Sin embargo, el uso de la tierra bajo manejo convencional ha conllevado al incremento de la misma al observarse valores superiores a los reportados bajo bosque natural o descanso, lo que podría conducir a un proceso de salinización. Mogollón et al. (2016), en un estudio

llevado a cabo al norte de Venezuela, señalan que en los suelos bajo manejo intensivo se ha incrementado drásticamente el proceso de salinización, atribuido en buena parte a la aplicación excesiva de fertilizantes y agroquímicos.

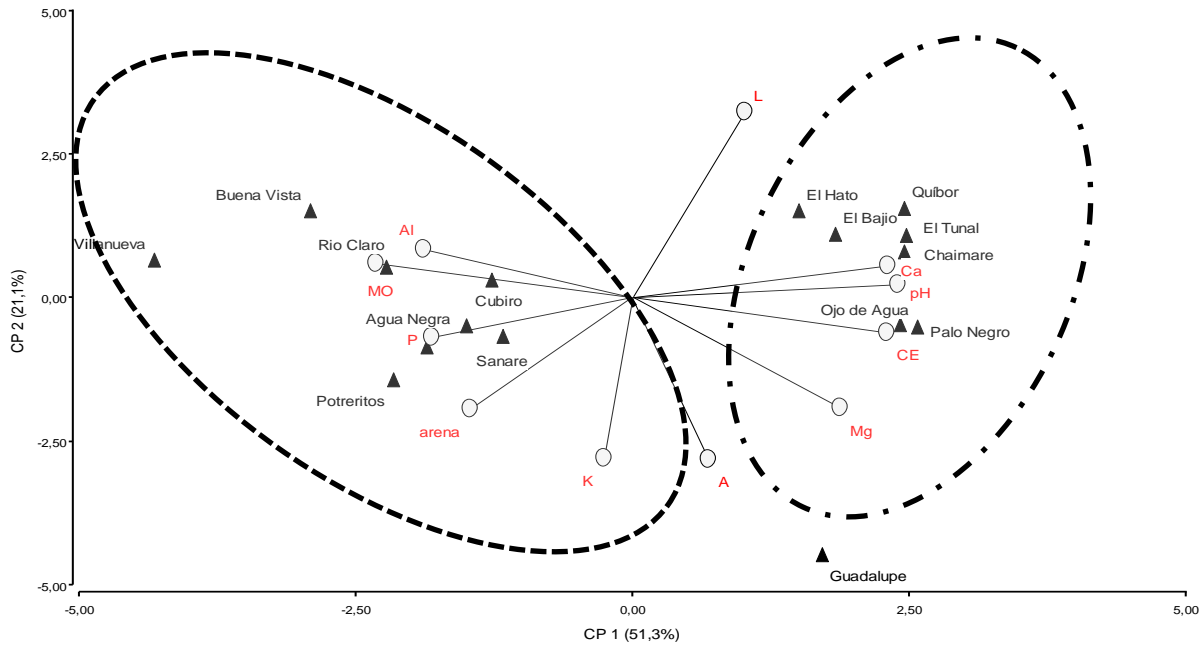


Figura 2. Distribución de los tratamientos en el plano en función de la capacidad explicativa de los datos provenientes de muestras de suelos de dos regiones agrícolas del estado Lara

Cuadro 6. Efectos de uso de la tierra sobre algunos parámetros químicos de suelos provenientes de la depresión de Quíbor bajo diferentes tipos de uso de la tierra

Uso de la tierra	MO g·kg ⁻¹	pH	CE dS ⁻¹	P	K mg·kg ⁻¹	Ca	Mg
Bosque natural ¹	37,3	7,64	0,24	79,7	211,3	>2000	460
Suelo con más de tres años de descanso, tradicionalmente se producía cebolla bajo manejo convencional ²	17,7	7,70	4,66	85,00	212	1200	400
Cebolla con mecanización convencional, fertilización química, uso de plaguicidas y riego en serpentín ³	10,7	7,43	1,02	26,7	171,4	>2000	380
Pasto para corte en suelo con más de tres años de descanso. Tradicionalmente sembrado con cebolla, bajo manejo convencional ⁴	12,0	7,51	0,34	40,0	287,5	>2000	390
Suelo bajo cobertura de costras biológicas ⁵	17,58	7,63	0,25	19,78	209,6	>2000	111,89

Referencias: ^{1,3,4}Jaurixje et al. (2013); ²Torres et al. (2009); ⁵Torres et al. (2014)

En el caso de la materia orgánica, las investigaciones reportadas en la depresión de Quíbor, muestran una tendencia similar a las

reportadas por Mogollón et al. (2015), quienes encontraron una reducción del contenido de carbono orgánico en suelos de la península de

Torres et al. Potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del estado Lara

Paraguaná entre 39,13 % y 86,09 % en comparación a las condiciones naturales. El uso de la tierra que más afectó las reservas de carbono fue el melón bajo riego por goteo y fertilización química. Los resultados fueron similares a los encontrados por Moges et al. (2013) en una zona semiárida de Etiopía, donde el contenido de carbono orgánico fue más bajo en tierras agrícolas bajo pastoreo en comparación a las áreas bajo bosque natural debido a la reducción de los aportes de residuos orgánicos, la alta tasa de oxidación de la materia orgánica por los largos periodos de actividad agrícola, pérdidas por erosión hídrica y remoción del material vegetal.

Así mismo, las investigaciones llevadas a cabo en la depresión de Quíbor demuestran que los usos de la tierra han conllevado a una disminución del contenido de nutrientes en comparación a las condiciones naturales, particularmente para el P y menor grado para el K, disminución que fue observada en los usos bajo manejo convencional con cebolla. Aunque los suelos son ricos en K,

dado la presencia de Illita en la fracción mineral, bajo el manejo convencional se observó una reducción de los valores de K con respecto al bosque natural, lo que coincide con lo reportado por Moges et al. (2013), quienes observaron que el K disponible se redujo considerablemente en suelos bajo pastoreo en comparación al bosque natural debido a la degradación física del suelo, que favorece las pérdidas del mismo por erosión y lixiviación.

En relación al contenido de P disponible también se redujo en los sistemas agrícolas bajo manejo convencional, a pesar de las elevadas cantidades de abono aplicados, la reducción del P, puede obedecer a la fijación del mismo como fosfato tricálcico y la adhesión del mismo en las arcillas lo que imposibilita que el mismo esté disponible para la planta convirtiendo el suelo en un sumidero (Audette et al., 2016), con respecto al Ca y Mg los mismos no fueron afectados por el tipo de uso debido al origen calcáreo de los suelos.

Cuadro 7. Efectos de uso de la tierra sobre algunos parámetros químicos de suelos provenientes del piedemonte del estado Lara bajo diferentes tipos de uso de la tierra

Uso de la tierra	MO (g·kg ⁻¹)	pH	P					Al (meq·100g ⁻¹)
			P	K	Ca	Mg	(mg·kg ⁻¹)	
Suelo condiciones naturales sin encalar ¹	61,0	4,26	3,00	75,0	435	104	4,7	
Café bajo fertilización inorgánica, control de maleza manual y corrección acidez con uso de cal agrícola ²	100,0	5,60	2,00	77	1382	80	3,53	
Ajoporro* bajo fertilización orgánica, control de maleza manual y riego por aspersión ²	48,9	5,50	89,0	177	609	66	0,00	
Lechuga fertilización inorgánica, control de malezas, químico y preparación de tierras mecanizado ²	21,3	5,50	57,0	356	2000	107	0,00	
Suelo ácido encalado ²	61,0	5,65	3,00	75,00	1926	278	0,16	

**Allium ampeloprasum*. Referencias: ¹Perez et al. (2011); ²Torres et al. (2012)

En el Cuadro 7, se observa que el contenido de materia orgánica bajo manejos conservacionista o condiciones naturales es generalmente alto, sin embargo, se observó una disminución del mismo en los sistemas donde se sustituyeron los cafetales por hortalizas de ciclo corto, este cambio puede estar asociado a un menor aporte de residuos orgánicos de hojarasca y al incremento de los procesos erosivos. Lozano et al. (2010),

encontraron que los valores de materia orgánica disminuyeron cuando se cambió el uso de la tierra hacia sistemas de cítricos en suelos de valle intramontano de Carabobo, estos autores señalan que la introducción de este tipo de plantaciones generó una disminución de fracciones activas y pasivas de la materia orgánica, por su parte Zamora et al. (2017), encontraron incremento en los niveles de materia orgánica cuando se asoció

café con cítricos, guamo (*Inga* spp.) y musáceas en suelos de la sierra Falconiana.

En general, los suelos del piedemonte presentaron valores bajos de pH, producto del lavado de los cationes básicos, los cuales llevan a problemas de toxicidad por la presencia de aluminio y a contenidos bajos de P en el suelo debido a su fijación. Si bien el encalado incrementó el pH por el aumento del contenido de calcio y redujo los niveles de aluminio de 4,7 a 0,16 meq·100g⁻¹, se requiere mejorar las prácticas de fertilización con fósforo. En los sistemas hortícolas la mayor aplicación de fertilizantes, bien sea orgánico o inorgánico han incrementado el contenido de P en el suelo (Bouzo y Astegiano, 2012).

En suelos del estado Yaracuy, Andrade et al. (2014) encontraron que el 33,33 % de los suelos presentaron pH menores a 6 y los mismos estaban ubicados en la zona de mayor precipitación, lo que pudo ocasionar el lavado de los cationes. Al igual que lo observado en los datos analizados en el piedemonte del estado Lara, en Yaracuy, estos autores hallaron que en valores bajos de pH el P es altamente fijado, de allí que encuentren valores bajos del mismo

Con respecto al K, los sistemas bajo hortalizas mejoraron el contenido de K en el suelo, posiblemente debido al uso de mayores cantidades de fertilizantes tanto de forma inorgánica como orgánica. Con respecto al Ca y Mg, como se mencionó anteriormente el contenido de los mismos tiende a ser bajo, producto de los procesos de lixiviación, sin embargo, el contenido de estas bases se incrementa, cuando se aplican prácticas de encalado con calcita dolomítica.

Estudios previos realizados por Guédez y Pérez (1996) señalan que la baja fertilidad del suelo se debe a la baja capacidad de intercambio catiónico, producto de la abundancia de arcillas de tipo caolinítico, estos autores señalan que los problemas de fertilidad se resolverían con la aplicación de fertilizantes, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y la disminución del aluminio a valores que no produzcan toxicidad en los cultivos.

El conocimiento de las propiedades de los suelos de la depresión de Quíbor y áreas adyacentes y el entendimiento de los procesos antrópicos sobre la calidad del suelo, permitirán a largo plazo, a la selección de los sistemas de

producción que mejor se adapten a las condiciones de las zonas, aumentando la productividad de la tierra y mejorando las condiciones de vida de los pobladores de la zona.

CONCLUSIONES

Los suelos de la depresión de Quíbor presentan un alto potencial para la producción agrícola por el alto contenido de nutrientes, pero presentan serias limitaciones por los riesgos de degradación física por: compactación, sellado y encostramiento, erosión hídrica y afectación de suelos por sales. Mientras que los suelos de piedemonte presentan un alto contenido de materia orgánica, pero limitaciones por la acidez del suelo y la presencia de aluminio intercambiable que limita la disponibilidad de nutrientes, particularmente el P.

Se identificaron dos grupos de suelos, aquellos ubicados en la depresión de Quíbor y los ubicados en la zona de piedemonte, las variables más importantes en explicar la separación de estos grupos fueron el pH, CE, MO y Al. Los cambios en estas variables se pueden deber al efecto de los factores formadores de suelo y la intensidad del uso de la tierra, que conlleva al desarrollo de procesos de degradación como la salinización en la zona de la depresión de Quíbor y acidificación en la zona de piedemonte.

Los usos de la tierra bajo manejo convencional han conllevado a una disminución del contenido de materia orgánica, fósforo e incremento de la conductividad eléctrica en la depresión de Quíbor, mientras que en la zona de piedemonte la sustitución del café por cultivos hortícolas ha ocasionado una disminución del contenido de materia orgánica, disminución del pH e incremento del aluminio intercambiable en el suelo.

LITERATURA CITADA

1. Al-Ismaily, S. y A. Al-Maktoumi, A. 2011. Studying Soil Catena in Arid-zone Environment: Case Study for Soil Science Students. Atlas Journal of Science Education 1(2): 24-28.
2. Andrade, O., I. Arrieche y M. León. Diagnóstico de la fertilidad de suelos agrícolas del estado Yaracuy basado en análisis de

- laboratorio. *Venezuelos* 22: 5-15.
3. Audette, Y., I. O'Halloran, I y R. Voroney. 2016. Kinetics of phosphorus forms applied as inorganic and organic amendments to a calcareous soil. *Geoderma* 262: 119-124.
 4. Bouzo, C y E. Astegiano. 2012. Efectos de diferentes agroecosistemas en la dinámica de nitrógeno, fósforo y potasio en un cultivo de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(5): 907-924.
 5. Brito, J. 2011. Bibliografía edafológica venezolana. Características de la base de datos "bev/agrin-ve". *Venezuelos* 7(1-2): 2-6.
 6. Candelaria, B., O. Ruiz, F. Gallardo, P. Pérez, A. Martínez y L. Vargas. 2011. Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and subtropical agroecosystems* 14(3): 999-1010.
 7. Dlamini, P., C. Orchard, G. Jewitt, S. Lorentz S, L. Titshall L y V. 2011. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agr. Water Manage* 98: 1711-1718.
 8. Fernández, A., R. Villafañe y R. Hernández. 2011. Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la península de Paraguaná, Venezuela. *Agronomía Trop.* 61(3-4): 253-261.
 9. Guédez, J. y R. Perez. 1996. Colección de suelos de referencias: Principales suelos de uso agrícola del estado Lara. *Bioagro* 8(3):77-86.
 10. Goldstein, I., L. Rojas, N. Pulido y Z. Molina. 2012. Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela. Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua. *Revista Geográfica Venezolana* 53(2): 213-238.
 11. Gunsé, B., T. Garzón y J. Barceló. 2003. Study of aluminum toxicity by means of vital staining profiles in four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Plant Physiology* 160: 1447-1450.
 12. Hall, K., C. Ray, S. Ki, K. Spokas y W. Koskinen. 2015. Pesticide sorption and leaching potential on three Hawaiian soils. *Journal of Environmental Management* 159: 227-234.
 13. 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.
 14. Lobo, D., D. Gabriels, D. Torres y G. Depaola. 2011 Use of synthetic (Hydrogel) and organic soil conditioners to improve the water use efficiency for green pepper cultivation. *In: K. Verbist K. y D. Gabriels (eds.) Proceedings of the International Conference on Arid and Semiarid Development through Water Augmentation* 31: 42-51.
 15. Lozada, C. 1997. Evaluación de 14 cultivares de caraota (*Phaseolus vulgaris*) y estimación de la estabilidad del rendimiento en zonas altas del estado Lara. *Bioagro* 9(1): 12-19.
 16. Lozada, J., P. Soriano y M. Costa. 2014. Relaciones suelo-vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 62(1): 385-401.
 17. Lozano, Z., R.M. Hernández, M. Pulido, B. Flores y T. Rondón. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, inceptisol y ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* 22(3): 201-210.
 18. Maestre, F., J. Quero, N. Gotelli, A. Escudero, V. Ochoa, M. Delgado, M. García, M. Bowker, S. Soliveres y C. Escolar. 2012. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science* 335: 214-218.
 19. Martins, A., S. de Andrade, I. Anghinoni, T. Kunrath, F. Balerini, D. Cecagno y P. Carvalho. 2014. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 195: 18-28.
 20. Mendoza, B., A. Florentino, R.M. Hernández, J. Aciego, D. y E. Vera. 2013. Atributos biológicos de dos suelos de Quíbor con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(3): 409-421.
 21. Moges, A., M. Dagnachew y F. Yimer. 2013. Land Use Effects on Soil Quality Indicators: A Case Study of Abo-Wonsho Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science* 2013. 9 p.
 22. Mogollón, J., A. Martínez y W. Rivas. 2014.

- Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales* 44(1): 22-28.
23. Mogollón, J., W. Rivas, A. Martínez, Y Campos y E. Márquez. 2015. Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias* 15(3): 271-280.
24. Mogollón, J. P., A. Martínez y D. Torres, D. 2016. Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Bioagro* 28(1): 29-38.
25. Pérez, J., R. Schargel, J. Gómez y C. Ohep. 1995. Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del Valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú Quíbor (SHYQ). Barquisimeto. Venezuela. 78 p.
26. Pérez., C. Meza y S. Fernández. 2011. Requerimientos de encalado en tres suelos ácidos de la región Centro occidental de Venezuela. *Venesuelos* 18: 21-29.
27. Pierre, F. y P. Betancourt. 2007. Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quíbor, Venezuela. *Bioagro* 19: 69-78.
28. 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.
29. Quiñónez, E. y F. Dal Pozzo. 2008. Distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado Lara, Venezuela. *Geoenseñanza* 13(1): 59-70.
30. Rey, J., J. Brito, R. Hídalgo y M. Rodríguez. 2012. Propuesta para la recopilación de información de suelos en Venezuela. *Memorias XX Congreso Venezolano de las ciencias del suelo*. 6 p.
31. Reyes, W. 2010. Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro* 22(1): 29-36.
32. Rodríguez, O. 1991. Minerales y arcillas de los suelos del estado Lara II. *Difractometría de rayo X*. *Bioagro* 8(3): 91-96.
33. Rodríguez, N., D. Torres, H. Yéndis, A. Florentino y F. Zamora. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Revista Fac. Agro. (LUZ)*. 26(3): 340-361.
34. SHYQ-UCLA. 2006. Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del sector norte de la zona de aprovechamiento agrícola del Valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto. Venezuela. 80 p.
35. Toledo, V. 2013. Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara Venezuela. *Revista de Investigación* 80(37): 117-138.
36. 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, Edo. Falcón, Venezuela. *Bioagro* 18(2): 123-128.
37. 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 Tropical* 59(2): 207-217.
38. Torres, D., M. López, J. Contreras, M. Henríquez, I. Acevedo y C. Agurto. 2012. Uso de la tierra del piedemonte del estado Lara, Venezuela y su efecto sobre propiedades físicas, químicas y bacterias rizosféricas. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(7): 1375-1388.
39. Yılmaz, M., F. Yılmaz, R. Karagul y L. Altun. 2008. Changes in erodibility indices and some soil properties according to parent materials and land use regimes in Erfelek Dam Creek watershed (Sinop, Turkey). *Fresenius Environ. Bull.* 17: 49-58.
40. Zamora, F., D. Torres, M. Medina y R. Labarca. 2017. Efecto de los sistemas agroforestales sobre La fertilidad de suelos de ladera de la sierra Falconiana (Venezuela). *Academia* 16(37): 71-81.