

## Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón

### Selection of soil quality indicators in three land use types in the Coro plain, Falcon State

N, Rodríguez<sup>1</sup>, A. Florentino<sup>2</sup>, D. Torres<sup>3</sup>, H. Yendis<sup>3</sup> y F. Zamora<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda" Facultad de Agronomía. Desarrollo y Producción Agrícola.

<sup>2</sup>Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología.

<sup>3</sup>Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" Decanato de Agronomía.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones agrícolas, Unidad Experimental Falcón.

### Resumen

Con el propósito de seleccionar indicadores de calidad de suelo, se evaluó el impacto de los principales usos de la tierra (TUT) en el "Cebollal" Planicie de Coro sobre algunas variables físicas, químicas, biológicas e hidrológicas del suelo. Tres usos de la tierra fueron evaluados; bosque natural, el cual fue empleado como referencia para la construcción del gradiente ambiental (TUT-B), zábila *Aloe vera* L. bajo riego para la producción de gel con fertilización orgánica (TUT-Z) y un sistema melón-melón (*Cucumis melo*) con fertilización química y labranzas convencional (TUT-M). Para la cuantificación de las variables químicas, físicas y biológicas se tomaron muestras de suelo a las profundidades de 0-10 y de 10-20 cm. El estudio fue analizado como un diseño completamente al azar y para la selección de los indicadores, se realizó un análisis de componentes principales, seleccionando como indicadores aquellos parámetros con correlación de 0,70 o más con el componente principal. Cinco indicadores de calidad de suelo fueron seleccionados: densidad aparente, velocidad de infiltración, respiración del suelo, contenido de fósforo y pH. El TUT-Z y el TUT-B tuvieron un comportamiento similar, presentando igual calidad de suelo, producto de mejo-

---

Recibido el 20-11-2007 • Aceptado el 2-3-2009

Autor de correspondencia e-mail: nectajo@cantv.net; duiliorres@ucla.edu.ve; hyendis@hotmail.com; fzamora@inia.gob.ve

res condiciones fertilidad, como consecuencia de incrementos en la materia orgánica y la actividad biológica, el TUT-M presentó un desmejoramiento de la calidad del suelo al mostrar incrementos en los valores conductividad eléctrica y densidad aparente.

**Palabras clave:** calidad de suelo, indicadores, tipo de uso de la tierra.

## Abstract

In order to select soil quality indicators, the impact of the main land use type (LUT) over some soil physical, chemical, biological and hydrological variables were evaluated in "El Cebollal" of Coro plain. Three land uses were evaluated: natural forest, which was used as a reference for building the environmental gradient (LUT-F); Aloe (*Aloe vera* L.) under irrigation and organic fertilization for gel production (LUT-A); and a muskmelon (*Cucumis melo*) system with chemical fertilization and conventional tillage (LUT-M). Soil samples were taken at depths of 0-10 and 10-20 cm for the physical, chemical and biological variables quantification. The study was analyzed as a completely random design and a main components analysis was carried out for selecting the indicators, taking into account only those parameters with correlation equal or over 0.70 with the main component. Five soil quality indicators were selected: bulk density, infiltration speed, soil respiration, P content and pH. The LUT-A and the LUT-F showed a similar behavior, with equal soil quality, as a better fertility consequence of a determined by organic matter and biological activity increases. The LUT-M reduced its soil quality as indicated by an increase in its electrical conductivity and bulk density.

**Key words:** soil quality; indicators; land uses type.

## Introducción

En la zona semiárida del estado Falcón, se ha observado en los últimos años un proceso de degradación de la tierra, con consecuencias como: incremento de suelos afectados por sales, erosión hídrica y eólica, resultando en reducción de la fertilidad de los suelos, disminución en la cantidad y calidad de agua disponible para los cultivos y pérdida de la biodiversidad animal y vegetal; lo que ha conducido a la improductividad de los recursos existentes en la zona (Torres *et al.*, 2006).

## Introduction

In the semi-arid region of Falcon state, in the last years a land degradation process have been observed, with consequences like: soils affected by salts increase, hydric and wind erosion, living as a result a reduction on soils fertilization, decrease in the quantity and quality of available water for crops and loss of animal and vegetal biodiversity, which have takes to the uselessness of region resources (Torres *et al.*, 2006).

That's why, it is necessary to

Por esto, es necesario cuantificar el estado de degradación actual con el fin de proponer prácticas de manejo conservacionistas para la recuperación de los suelos, por lo tanto se deben seleccionar atributos de suelos que permitan evaluar de manera directa la calidad del mismo. En este sentido, Bouma (1997), Dick *et al.* (1996) y Dalurzo *et al.* (2005), han evaluado y seleccionado atributos que permiten monitorear cambios en la calidad del suelo en función del tipo de uso implementado, dado que para planificar su uso y manejo sustentable es necesario conocer la evolución de la calidad del suelo bajo diferentes prácticas agrícolas, utilizando indicadores que sean sensibles para detectar cambios, fáciles de medir e interpretar y accesibles para diversos usuarios.

Para evaluar la calidad de suelo se debe iniciar por la construcción de escenarios hipotéticos considerando el tiempo como un factor importante en el cambio de las variables evaluadas, en este sentido (Martínez, 2004) planteó una metodología para evaluar el efecto del cultivo de papa sobre las propiedades físicas y químicas de suelos, en la región de Cundinamarca en Colombia, considerando la situación más limitante o extrema las parcelas con más de 50 años bajo cultivo de papa, la situación intermedia 25 años bajo cultivo de papa y la situación ideal aquellas parcela bajo bosque natural, la razón de construir gradientes artificiales y no de realizar un seguimiento histórico, ya que este tipo de información no sólo es difícil de obtener, sino que la misma es costosa y en muchos casos no se cuenta con registros a largo plazo que per-

quantify the current degradation condition with the purpose of propose no-tillage practices for the soils recovery, therefore, soils attributes that permit the direct evaluation of its quality have to be selected. Bouma (1997), Dick, *et al.* (1996) and Dalurzo *et al.* (2005), have evaluated and selected attributes that permit to check changes in soil quality as a function of type of use done, because to planning its use and sustainable use is necessary to know the evolution of soil quality under different agricultural practices, by using indicators that be sensitive to detecting changes, easy to be measured and interpreted, and accessible to different users.

To evaluate the soil quality, the construction of hypothetical scenarios has to be the beginning, by considering time as an important factor in change of evaluated variables; (Martínez, 2004) established a technology to evaluate the effect of potato crop on physical and chemical properties of soils, in Cundinamarca region, Colombia, by considering the extreme situation, the plots with 50 or more years under potato crop; the intermediate situation, 25 years under potato crop; and those ideal, plot under natural forest, the reason of construct artificial gradients and do not make a historical monitoring, because this kind of information not only is difficult to obtain, but also, it is expensive and in many cases, there is no long-term registrations that permit re-build the history of plots use that have to be evaluated.

This theoretical approach was assumed in this research and from

mitan reconstruir la historia de uso de las parcelas que se desean evaluar.

Este enfoque teórico fue el asumido en la presente investigación, asumiéndose sobre la base de trabajos previos que el sistema con mayor impacto sobre el suelo en el área bajo estudio fue el uso melón (TUT-M) bajo riego que constituyó el manejo convencional de la zona, el uso zabila (TUT-Z) bajo riego por goteo y abono orgánico constituyó el sistema alternativo, se planteó un tercer escenario el cual fue una parcela bajo bosque secundario (TUT-B) el cual constituye un área presumiblemente recuperada y lo cual sirvió para comparar los otros tipos de uso de la tierra, el objetivo de la investigación fue determinar el estado actual de degradación del suelo y generar valores críticos que permitan hacer un seguimiento a largo plazo a los sistemas de manejo existente en el área bajo estudio.

## Materiales y métodos

**Selección del sitio de estudio:** El estudio fue llevado a cabo en la serie "El Patillal", sector "El Cebollal" en la planicie de Coro, municipio Miranda, estado Falcón. La zona presentó una precipitación media anual de 450 mm, un evaporación de 3200 mm de promedio anual, temperatura de 27,7°C y humedad relativa de 74% y una velocidad del viento de 17,4 Km.hora<sup>-1</sup> en promedio. Los suelos estudiados pertenecen a la serie "El Patillal" y fueron clasificados como Ustic Haplargids, con una textura franco-arenosa, con permeabilidad rápida, conductividad eléctrica muy baja, pH neutro a alcalino, alto

previous works about it, the system with higher impact on soil in studied area was the use of Melon (LUT-M) under irrigation that constituted the conventional management of region, the aloe use (LUT-A) under drip irrigation and the organic manure was the alternative system, a third scenario was set up, which was a plot under secondary forest (LUT-F) which constitutes a presumably recovered area and it was useful to compare the other types of land use, the objective of this research was to determine the current state of soil degradation and to create critical values that permits to do a long-term monitoring to the management systems in the studied area.

## Materials and methods

**Study area selection:** Study was carried out in "El Patillal", sector "El Cebollal", Coro, Miranda municipality, Falcón state. Region showed an annual mean rainfall of 450 mm, an annual mean evaporation of 3200 mm, temperature of 27.7°C and relative moisture of 74% and a mean wind speed of 17,4 Km.hour<sup>-1</sup>. The studied soils belongs to "El Patillal" series and they were classified like Ustic Haplargids, with a sandy loam soil, a fast permeability and so low electrical conductivity, neutral to alkaline pH, high saturation percentage with bases and low capacity of cationic exchange.

The evaluated production units are placed in the Coro plain, in the "Patillal" serie and to 12°56'67"NL and 41° 38'46"WL for the production unit under Aloe (*Aloe vera* L) with drip

porcentaje de saturación con bases y baja capacidad de intercambio cationico. Las unidades de producción evaluadas están ubicadas en la planicie de Coro en la serie el Patillal y se ubican a 12°56'67" LN y 41°38'46" LO para la unidad de producción bajo zábila (*Aloe vera* L.) por riego por goteo bajo manejo orgánico (TUT-Z); 12°57'67" LN y 41°34'82" LO para la unidad de producción melón (*Cucumis melo*) riego por goteo bajo manejo convencional (TUT-M) y 12°55'23" LN y 41°33'89" LO para el bosque secundario (TUT-B).

**Características de las unidades de muestreo:** Para el estudio del impacto de los sistemas de producción agrícola se seleccionaron dos fincas de productores bajo dos tipos de uso de la tierra y un área bajo bosque natural no intervenido; a continuación se describen los tipos de uso evaluados. Bosque natural (TUT-B), el cual representó un sector de un bosque natural sin uso por muchos años, el cual se supone debe presentar las mejores condiciones de suelo, dado que el mismo no ha sido alterado por las actividades agrícolas. En cada sistema de manejo se evaluaron los parámetros químicos, físicos y biológicos de suelo zábila (TUT-Z) bajo riego por goteo con manejo orgánico para la producción de penca para gel y labranza mínima el cual representó un sector sometido a prácticas alternativas y melón bajo riego (TUT-M), que representó el manejo convencional de la zona (fertilización química y tres pases de rastra), cuya intensidad probablemente ha conllevado a procesos de degradación que se han detectado en la zona.

irrigation under organic manure (LTU-A); 12°57'67" NL and 41°34'82" WL for the production unit melon (*Cucumis melo*) drip irrigation under conventional management (LUT-M) and 12°55'23" NL and 41°33'89" WL for secondary forest (LTU-F).

**Characteristics of sampling units:** To study the impact of agricultural production systems, two producer's farms were selected under two types and an area under natural forest without intervention; the types of use evaluated were. Natural forest (LUT-F), which represented a sector of a natural forest without many years of use, which it is suppose to show the best soil conditions, because it has no alteration by agricultural activities. In each management system, the chemical, physical and biological soils parameters were evaluated; Aloe (LUT-A) under drip irrigation with organic manure for PENCA for gel production and minimum tillage which represented a sector subdue to alternative practices and Melon under irrigation (LUT-M), that represented the conventional management of region (chemical fertilization and three passes of harrow) whose intensity probably takes to degradation processes in region.

**Experimental design:** A completely at random design was used, with the type of land use like classification variable, within each type of land use 10 modified soil samples (replications) to evaluate changes in the chemical and biological variables and 10 no modified samples to evaluate physical variables, which were taken to 0-10 cm and 10-20 cm depth, and selected as a function of

**Diseño experimental:** Se empleó un diseño completamente aleatorio, con el tipo de uso de la tierra como variable de clasificación, para ello dentro de cada tipo de uso de la tierra se tomaron 10 muestras de suelos alteradas (réplicas) para evaluar los cambios en las variables químicas y biológicas y 10 muestras no alteradas para evaluar las variables físicas, estas fueron tomadas a las profundidades de 0-10 cm y de 10-20 centímetros, las cuales fueron seleccionadas en función del desarrollo radical del cultivo en estudio y del efecto de las prácticas de manejo.

**Variables evaluadas:** Las variables químicas evaluadas fueron: pH, conductividad eléctrica (Ce), capacidad de intercambio catiónico (CIC), macronutrientes (N, P, K) siguiendo la metodología de rutina usada por el laboratorio de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (Instituto de Edafología, 1993). El pH fue medido por el método potenciométrico en relación agua: suelo (2:1), el carbono orgánico fue medido por el método de Walkley y Black, la capacidad de intercambio catiónico por extracción con acetato de amonio. Las variables físicas: densidad aparente, macroporosidad, microporosidad, conductividad hidráulica saturada fueron realizadas por la metodología descrita por Pla (1983) la velocidad de infiltración por el método propuesto por (Doran, 2000) y la respiración basal fue determinada mediante el método de (Stokszy, 1965).

**Análisis de los datos:** Se realizó un análisis de varianza (ANAVAR) para determinar diferen-

radical development of studied crop and the effect of management practices.

**Evaluated variables:** Chemical variables evaluated were: pH, electrical conductivity (EC), capacity of cationic exchange (CCE), macronutrients (N, P, K), by following usual methodology used by the Edaphology Laboratory, Agronomy Faculty, Universidad Central de Venezuela (Edaphology Institute, 1993). pH was measured by the potentiometric method in a water : soil relationship (2:1), the organic carbon was measured by following the Walkley and Black method, the capacity of cationic exchange by extraction with ammonium acetate. The physical variables, apparent density, macroporosity, microporosity, saturated hydraulic conductivity were done by following methodology described by Pla (1983); the infiltration speed according to the method proposed by Doran (2000) and basal respiration was determined by method of Stokszy (1965).

**Data analysis:** An analysis of variance (ANAVAR) was carried out to determine differences between the several types of land use on the soil properties evaluated. For those variables showing significant differences, a Tukey mean test to separate treatments as a function of magnitude of values obtained was carried out. The indicators selection was done through analysis of mean components. Those parameters with a correlation superior to 0.70 with the main component were selected as indicators. Once indicators selected, a quantification was given to each one

cias entre los distintos tipos de uso sobre las propiedades de suelo evaluados. Para aquellas variables que presentaron diferencias significativas se realizaron prueba de medias por Tukey para separar los tratamientos en función de la magnitud de los valores obtenidos. La selección de los indicadores se realizó mediante análisis de componentes principales. Aquellos parámetros con una correlación mayor a 0,70 con el componente principal, fueron seleccionados como indicadores. Una vez que se seleccionaron los indicadores se procedió a darle una cuantificación a cada uno de los índices estudiados con el objeto de establecer categorías en función de las prácticas de manejo evaluadas; para ello se empleó el criterio de (Roomig, 1994), estableciendo cuatro categorías con valores de 0, 2, 4 y 6 para las condiciones de más a menos favorable. El valor de probabilidad seleccionado en el estudio fue de  $P < 0,05$ . El análisis estadístico se realizó usando el paquete estadístico computarizado Infostat (Versión 1.1).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mostraron que existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para las variables densidad aparente, espacio poroso total, macro y microporosidad, velocidad de infiltración, materia orgánica, fósforo, conductividad eléctrica, pH, respiración basal (cuadro 1), las cuales presentaron mejoras en su calidad, observándose que el uso zábila presentó valores similares a los del bosque natural, para la mayoría de estas variables, Las diferencias encontra-

of studied indexes with the purpose of establish categories as a function of management practices evaluated; the Roomig criterion, (1994) was used, by establishing four categories with values of 0, 2, 4 and 6 for conditions of more or less favorable. The probability value selected in the study was  $P < 0.05$ . The statistical analysis was accomplished by using the statistical program Infostat (Version 1.1).

## Results and discussion

Results obtained showed significant differences ( $P < 0.05$ ) for the variables apparent density, total porous space, macro and microporosity, infiltration speed, organic matter, phosphorous, electrical conductivity, pH, basal breathing (table 1), which showed a quality improved, being observed that the Aloe use showed similar values to those of natural forest, for the most of these variables, Differences were only found in the first 10 cm of soil, thus results correspond to this first soil stratum, which agree with those reported by Assis and Lancas (2003), who detach that changes on management systems were observed in the first 5 cm, but did not cause any alterations after 15 cm depth.<sup>1</sup>

Respect to the chemical variables, it was observed that contributions of organic matter in the LUT-A notably improved soil fertility, by showing values of organic matter similar to those reported in the LUT-F, which also improved the P and K levels. However, P contents were lower ( $P < 0.05$ ) in comparison to the

**Cuadro 1. Efecto de tres uso de la tierra sobre el comportamiento de las variables evaluadas a la profundidad de 0-10 cm en la planicie de Coro, estado Falcón.**

**Table 1. Effect of three types of land use on evaluated variables behavior to 0-10 cm depth in Coro plain, Falcón state.**

Tipo de uso	TUB	TUM	TUZ
Da	1,54 <sup>b</sup>	1,71 <sup>a</sup>	1,78 <sup>a</sup>
EPT	45,23 <sup>a</sup>	40,49 <sup>b</sup>	40,32 <sup>b</sup>
Macroporos	18,30 <sup>a</sup>	14,33 <sup>b</sup>	18,25 <sup>a</sup>
Microporos	28,92 <sup>a</sup>	27,12 <sup>a</sup>	21,53 <sup>b</sup>
Ks	1,23 <sup>b</sup>	1,43 <sup>a</sup>	1,35 <sup>a</sup>
Vel Infiltración	6,40 <sup>c</sup>	38,79 <sup>a</sup>	17,53 <sup>b</sup>
MO	2,69 <sup>a</sup>	1,83 <sup>b</sup>	3,55 <sup>a</sup>
CIC	8,00 <sup>b</sup>	9,04 <sup>a</sup>	9,08 <sup>a</sup>
P	2,60 <sup>c</sup>	58,13 <sup>a</sup>	15,08 <sup>b</sup>
K	0,07 <sup>a</sup>	0,09 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>
Ce	0,80 <sup>b</sup>	2,52 <sup>a</sup>	0,23 <sup>b</sup>
pH	7,69 <sup>b</sup>	6,66 <sup>c</sup>	8,03 <sup>a</sup>
Respiración	36,38 <sup>a</sup>	18,76 <sup>b</sup>	36,70 <sup>a</sup>

Da: densidad aparente EPT: espacio poroso total. Ks: conductividad hidráulica saturada. Vel Infiltración: velocidad de infiltración; MO: materia orgánica. CIC: Capacidad de intercambio catiónico, P: Fósforo, K: Potasio, Ce: conductividad eléctrica TUB: Suelo bajo bosque natural; TUM: melón bajo manejo convencional: TUZ: zabala bajo fertilización orgánica y riego por goteo.

das sólo se reflejaron en los primeros 10 cm. de suelo, por lo que los resultados presentados corresponden a este primer estrato de suelo, esto coincidió con lo reportado por Assis y Lancas (2003), quienes señalan que los cambios de sistemas de manejo fueron observados en los primeros 5 cm, pero no causó alteraciones después de los 15 centímetros de profundidad.

Con respecto a las variables químicas se observó que los aportes de materia orgánica en el TUT-Z mejoraron notablemente la fertilidad del suelo, presentándose valores de ma-

LUT-M, because the last one would be fertilized. The increases on organic matter contents were also reflected on a higher biological activity in the LUT-A, because the great contribution of organic carbon favored the biological activity with similar values to those of LUT-F and statistically superior to the LUT-M, which improved fertility through nutrients release on organic matter mineralization.

In relation to the biological variables, results shown that values of basal breathing were significant higher ( $P < 0.05$ ) in treatments LUT-

teria orgánica similares a los reportados en el TUT-B, lo cual mejoró los niveles de P y K. Sin embargo, los contenidos de P, fueron menores ( $P < 0,05$ ) a los del TUT-M, dado que este último había sido fertilizado. Los incrementos en los contenidos de materia orgánica a su vez se reflejaron en una mayor actividad biológica en el TUT-Z, dado que el mayor aporte de carbono orgánico favoreció la actividad biológica con valores similares a los del TUT-B y superiores estadísticamente al TUT-M, esto a su vez repercutieron en una mayor fertilidad dado que se favorecieron la mineralización de la materia orgánica liberándose nutrientes.

Con relación a las variables biológicas, los resultados muestran que los valores de respiración basal, fueron significativamente superiores ( $P < 0,05$ ) en los tratamientos TUT-Z y TUT-B al compararse con el TUT-M en los primeros 10 cm, este incremento de respiración basal estuvo asociado a los incrementos de carbono orgánico en el TUT-Z, el cual ha sido manejado bajo fertilización orgánica, lo cual lleva que la actividad biológica se incrementó en la misma, en el caso del bosque se debió a la condición natural del mismo, ya que al ser perturbado mantuvo los niveles de carbono orgánico estables.

El análisis de componentes principales (ACP) realizado, reveló que los dos primeros componentes explicaron el 47% de la variabilidad de los datos, (26% componente 1) y (21% componente 2). En este sentido a lo largo del primer componente se observó que las variables macroporosidad (-0,73), espacio poro-

A and LUT-F when comparing to the LUT-M in the first 10 cm, this basal breathing increase was related to the increases on organic carbon in the LUT-A, which have been managed under organic fertilization, which shows that biological activity increased, in forest case this was caused by its natural condition, because when be disturbed kept stable levels of organic matter levels.

The mean components analysis (MCA) showed that the two mean components explained the 47% of data variability, (26% component 1) and (21% component 2). Throughout the first component, it was observed that macroporosity (-0,73), total porous space (-0,64), infiltration speed (0,84), edaphic breathing (-0,71), phosphorous (0,85), electrical conductivity (0,70) and pH (-0,83) variables, were the more sensitive to changes, as a product of land use, that caused differences in soil quality reinforce in three senses: one to the compacting problems generated by the traditional use of land, pH variations and salinity and to changes in soil biological properties.

In figures 1 and 2 it was observed that variables with negative correlation values with the first component showed high values of this property, in this case, the uses LUT-A and LUT-F showed high values of macroporosity and total porous space, contrary to LUT-M in which the machinery intensive use, have caused a damage of its physical properties takes to low values of these variables, which showed a tendency toward compacting in Melon and Aloe use types, in comparison to the type of

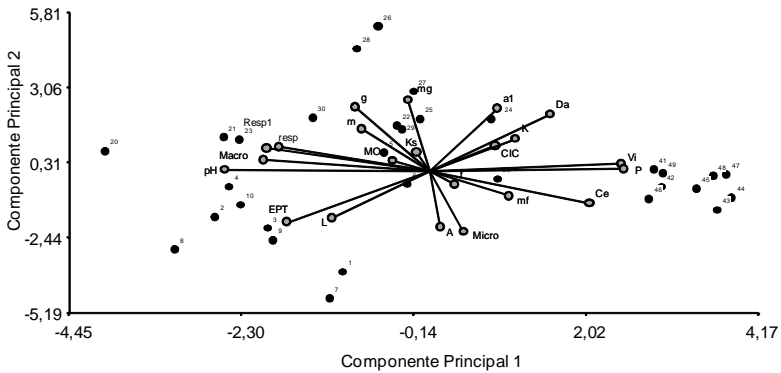
so total (-0,64), velocidad de infiltración (0,84), respiración edáfica (-0,71), Fósforo (0,85), conductividad eléctrica (0,70) y pH (-0,83) fueron las variables más sensibles a los cambios producto del uso de la tierra, lo que generó que las diferencias en calidad de suelos apuntaran en tres sentidos: uno a los problemas de compactación generados por el uso tradicional de la tierra, variaciones en el pH y salinidad y a cambios en las propiedades biológicas del suelo.

En las figuras 1 y 2, se observó que las variables con valores de correlación negativa con el primer componente presentaron valores altos de esta propiedad, en este caso los uso TUT-Z y TUT-B presentaron altos valores de macroporosidad y espacio poroso total a diferencia de TUT-M en el cual el uso intensivo de maquinaria, ha ocasionado un deterioro de sus propiedades físicas conllevando a valores bajos de estas variables, lo cual mostró una tendencia a la compactación en los tipos de uso melón y zábila en comparación con el tipo de uso bosque. El TUT-M presentó el mayor deterioro en las propiedades físicas al observarse un incremento en la densidad aparente ( $1,71 \pm 0,06$ ), un menor espacio poroso total ( $40,49 \pm 2,23$ ), una menor macroporosidad ( $14,33 \pm 4,14$ ) y una mayor microporosidad ( $27,12 \pm 4,44$ ) en comparación a los TUT-B y TUT-Z, estos resultados coincidieron con los obtenidos por Lister *et al.* (2004) y Abassi *et al.* (2005) quienes encontraron valores más altos en sistemas de producción ganaderos y pastizales en comparación a los valores encontrados en el bosque natural, concluyen-

forest use. The LUT-M showed the higher damage in physical properties when an increase in the apparent density ( $1,71 \pm 0,06$ ) was observed, a lower total porous space ( $40,49 \pm 2,23$ ), a lower macroporosity ( $14,33 \pm 4,14$ ) and a higher microporosity ( $27,12 \pm 4,44$ ) in comparison to the LUT-F and LUT-A; these results agree with those obtained by Lister *et al.* (2004) and Abassi *et al.*, (2005) who found higher values in livestock production systems and paddocks in comparison to values found in the natural forest, by concluding that soil quality decreases with the increases in apparent density and at the same time, it is related to the decrease on macroporosity and the total porous space, likewise in the parameters related to the soil water flux (hydraulic conductivity and infiltration), when comparing a highly mechanized soil with no disturbed one.<sup>2</sup>

Nevertheless, results showed that soil quality is not possible to be recovered in short-term, even the use change, because the LUT-A despite the organic management and the no tillage, the apparent density values were similar to values reported in LUT-M (table 1). Logsdong and Karlen, (2004), said that changes in conventional systems toward minimum tillage systems, does not always takes to diminishing on apparent density values, that's why, most of the times this indicator could result useless to producers.

Respect to the infiltration speed variable, results were contradictories to those found by Torres *et al.* (2006) and Aoky and Serrano (2006) who



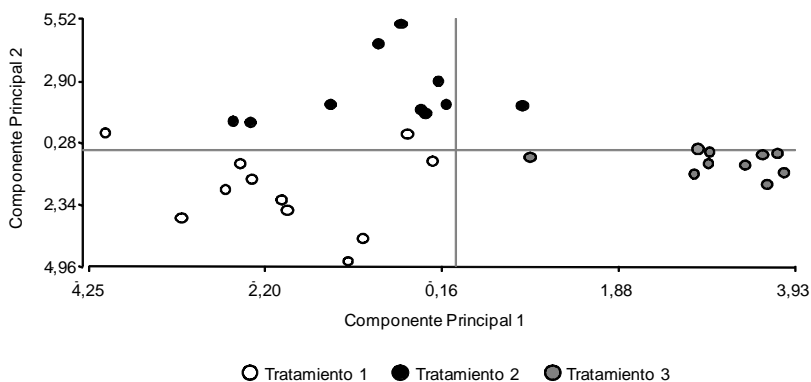
**Figura 1.** Distribución en el plano de las variables de suelo evaluada, mediante análisis de componente principal (ACP). Los círculos azules representan los puntos de muestreo en los tipos de uso de la tierra evaluados. Da: densidad aparente EPT: espacio poroso total. Ks: conductividad hidráulica saturada. Vel Infiltración: velocidad de infiltración; MO: materia orgánica. CIC: Capacidad de intercambio catiónico, P: Fósforo, K: Potasio, Ce: conductividad eléctrica, micro: microporosidad, mf; arena muy fina; g: arena gruesa. m: arena media; mg: arena muy gruesa, at: arena total.

**Figure 1.** Distribution in level of evaluated soil variables through mean component analysis (MCA). The blue circles represent the sampling points in the types of land use evaluated. Da: apparent density EPT: total porous space. Ks: saturated hydraulic conductivity. Vel Infiltración: Infiltration speed; MO: organic manure. CIC: Cationic exchange capacity, P: Phosphorous, K: Potassium, Ce: electrical conductivity, Micro: microporosity, mf; very fine sand; g thick sand. m: medium sand; mg: very thick sand, at: total sand.

do que la calidad del suelo decrece con los incrementos en la densidad aparente y a su vez esta asociado con disminución en la macroporosidad y espacio poroso total, así como en los parámetros asociados al flujo de agua en el suelo (conductividad hidráulica e infiltración), al comparar un suelo altamente mecanizado con un suelo no disturbado.

No obstante, los resultados evidenciaron que la calidad del suelo no es posible recuperarla al corto plazo

reported that infiltration is one of the more sensitive variables to changes in the land use type, because this variable became in a soil quality indicator, valid to detect significant differences, because infiltration speed have a tendency to be increased when soil physical conditions improves; however, in this research the uses types with better physical conditions showed a lower infiltration speed (LUT-F and LUT-A), which can obey to tillage conditions improved water



**Figura 2. Diagrama de dispersión de los tipos de uso de la tierra evaluados, mediante análisis de componentes principales (Tratamiento 1: TUT Bosque natural); Tratamiento 2: TUT-Zábila, Tratamiento 3: TUT: melón.**

**Figure 2. Dispersion diagram of land use types evaluated, through mean components analysis (Treatment 1: LTU Natural forest); Treatment 2: LTU-Aloe, Treatment 3: LTU: Melon.**

aun el cambio de uso, dado que en el TUT-Z a pesar del manejo orgánico y la no labranza los valores de densidad aparente fueron similares a los valores reportados en el TUT-M (cuadro 1). En este sentido, Logsdong y Karlen, (2004), señalaron que cambios de sistemas convencionales a sistemas de mínima labranza, no siempre conllevan a una disminución en los valores de densidad aparente, por lo que muchas veces este indicador puede resultar poco útil para los productores.

Con respecto a la variable velocidad de infiltración los resultados fueron contradictorios a los reportados por Torres *et al.* (2006) y Aoky y Serrano (2006) quienes señalaron que la infiltración es una de las variables más sensibles a los cambios en el tipo de uso de la tierra, encontrando que esta variable se constituyó como un indicador de calidad de suelo, válido

flux in the LUT-M and subsequently, values of this variable also increased, by taking to an inappropriate interpretation.

The second variant was related to the pH and electrical conductivity changes, by being observed that LUT-F and LUT-Z showed the higher pH values, but also the lower electrical conductivity, pH decrease in the LUT-M, did not show that there are no salinity problems, fertilization and sales type present (mainly sulphate) induced to a pH decrease.

Finally, the last slope had relation to the improvements in soil biological properties, by being showing the higher values in treatments LUT-A and LUT-F and this was mainly related to the organic matter contents which was higher in forest, by a higher vegetal biomass production and in case of Aloe as a

para detectar diferencias significativas, ya que la velocidad de infiltración tiende a incrementarse cuando mejoran las condiciones físicas del suelo; no obstante, en esta investigación los tipos de usos con mejores condiciones físicas, presentaron una menor velocidad de infiltración (TUT-B y TUT-Z), lo cual pudo obedecer a que las condiciones de labranza mejoraron el flujo de agua en el TUT-M por lo cual se incrementaron los valores de esta variable, llevando a una interpretación inapropiada de la misma.

La segunda variante estuvo asociada a los cambios de pH y conductividad eléctrica, observándose que los usos TUT-B y TUT-Z presentaron los valores más altos de pH, pero valores más bajos de conductividad eléctrica, la disminución del pH en el TUT-M, no indicó que en este no existieran problemas de salinidad, sino que la fertilización y el tipo de sales presentes (principalmente sulfatos) indujeron a una disminución del pH.

Finalmente la última vertiente tuvo que ver con las mejoras en las propiedades biológicas del suelo, presentándose los valores más altos en los tratamientos TUT-Z y TUT-B y esto estuvo asociado principalmente a los contenidos de materia orgánica la cual fue alta en el bosque, por una mayor producción de biomasa vegetal y en el caso del zábila producto de la fertilización orgánica. Los resultados encontrados indicaron que los tipos de uso que aportaron un mayor contenido de más materia orgánica, mejoraron la actividad biológica y esto estuvo asociado a mejoras en las propiedades físicas del suelo, debido a

product of the organic fertilization. Results found showed that uses types gave more content of organic matter, improved the biological activity and this was related to improvements on soil physical properties, because a higher aggregates formation as a result of organic acids and the microbial exudates that improves soil adding.

When analyzing variation on the second component (figure 1), it was observed that only the physical variables: microporosity, TPS and AD explained the variation on correlations data (-0,71), (-0,60) and (0,60); in this case, the LUT-M and LUT-F showed higher values of microporosity and total porous space in comparison to the use LUT-A, in this case, these variations were not attributed to changes in management that affected soil quality, they were related to particle size distribution which had a high correlation coefficient with this component with values of -0,65 for clay, -0,74 for silt and 0,73 for sand. This suggest that the uses LUT-F and LUT-M were located in heavier texture soils than in case of LUT-A, thus, they showed a higher microporosity and a higher mayor TPS.

Results obtained from MCA were similar to those reported by Loveland and Webb (2002) and Seybold *et al.* (2003), indicating that chemical properties were the low sensitive to changes, in comparison to physical and biological ones, showing that from a group of 67 variables previously evaluated, the more sensitive to changes were: organic carbon, biological activity, medium

una mayor formación de agregados producto de los ácidos orgánicos y los exudados microbianos que mejoran la agregación del suelo.

Al analizar la variación en el segundo componente (figura 1), se observó que solamente las variables físicas: microporosidad, EPT y Da explicaron la variación de los datos con correlaciones de (-0,71), (-0,60) y (0,60), en este caso los TUT-M y TUT-B presentaron valores más altos de microporosidad y de espacio poroso total en comparación al uso TUT-Z, en este caso estas variaciones no fueron atribuidas a cambios en el manejo que afectaron la calidad del suelo, sino que estas estuvieron asociadas a cambios en la distribución de tamaño de partículas que tuvieron un alto coeficiente de correlación con esta componente con valores de -0,65 para la arcilla, -0,74 para el limo y 0,73 para la arena. Esto sugiere que los usos TUT-B y TUT-M fueron ubicados en suelos de textura más pesadas que en el caso del TUT-Z de allí que presentaron una mayor microporosidad y un mayor EPT.

Los resultados obtenidos del ACP fueron similares a los reportados por Loveland y Webb (2002) y Seybold *et al.* (2003), señalando que las propiedades químicas fueron las menos sensibles a los cambios, en comparación a las propiedades físicas y biológicas, indicando que de un grupo de 67 variables evaluadas previamente las más sensibles a los cambios fueron: carbono orgánico, actividad biológica, diámetro medio ponderado (DMP), estabilidad de agregados; densidad aparente, macroporosidad; siendo solamente pH, nitrógeno y fósforo,

considered diameter (DMP), aggregate stability; apparent density, macroporosity, being only the pH, nitrogen and phosphorous, the chemical variables selected as indicators.

For the indicators final selection and construction of critical values, a discriminant analysis was accomplished, where the correspondent equations were built and final indicators were selected and the grouping of land uses was observed. Functions generated reduced indicators which were: apparent density, infiltration speed, both related to soil physical conditions; pH, related to soil salinity and sales type present and breathing related to soil fertility, which was influenced by organic matter presence, because the incorporation in the use type LUT-A or by those of vegetal biomass in case of LUT-F (table 2).

Once functions obtained, the grouping generation was done, being observed that groups built from this equation showed a mistake of 0 per cent (table 3), which showed that selected variables as indicators permitted an adequate discrimination about groups as a function of its management.

When observing the dispersion of cationic axes (figure 3), two groups were established, which notably differed in relation to the soil quality, a first group that covered the LUT-A and LUT-F, that covered the use types having the higher soil quality because the better physical, chemical and biological properties (low apparent density values and higher values of biological activity, P and low pH

las variables químicas seleccionadas como indicadores.

Para la selección definitiva de los indicadores y la construcción de los valores críticos se realizó un análisis discriminante, donde se construyeron las ecuaciones correspondientes y se seleccionaron los indicadores definitivos y se observó el agrupamiento de los usos de la tierra. Las funciones generadas redujeron a seis los indicadores, los cuales fueron: densidad aparente, velocidad de infiltración, estos dos primeros asociados a las condiciones físicas del suelo, pH, asociado a la salinidad del suelo y el tipo de sales presentes en el mismo, P y respiración asociados a la fertilidad del suelo, la cual estuvo fuertemente influenciado por la presencia de materia orgánica, ya sea por la incorporación en el tipo de uso TUT-Z o por la aportada por la biomasa vegetal en el caso del TUT-B (cuadro 2).

Una vez obtenidas las funciones se procedió a la generación de los grupos, observándose que los grupos construidos a partir de esta ecuación presentaron un error del 0 por ciento (cuadro 3), lo que indicó que las variables seleccionadas como indicadores permitieron una discriminación adecuada acerca de los grupos en función de su manejo.

En este sentido al observar la dispersión de los ejes canónico (figura 3), se establecieron dos grupos, los cuales difirieron notablemente en función de su calidad de suelo, un primer grupo que abarcó los TUT-Z y TUT-B, que agrupó los tipos de uso que tuvieron la mayor calidad de suelo al presentar mejores propiedades físicas, químicas y biológicas (menores valo-

values) (table 2). This indicate that in this first group the LUT-A because of looking more like a forest showed the more adequate management, in the second group was placed the LUT-M, which showed unfavorable physical conditions (higher apparent density), severe problems of salinity and a low biological activity as a result of a low contribution of organic matter, which is translated in a low P availability.<sup>4</sup>

Once indicators selected, critical values were built (table 4), which could be after used for making a following of soil quality and of land use type that will be established in region like paddocks and fruit trees; thus, the different categories were generated, high: those values above means TUB and TUZ; medium: mean values of TUB and TUZ, low values: those that correspond to the TUM and very low values corresponding to the TUM.

For the index construction a discriminant function in where the soil quality index was equal to  $ICS: 18,87 + 0,20 P - 5,34$  apparent density  $+ 0,09 Vi - 1,58 pH$ , in where the LUT, that shows values between  $-3,00$  to  $-5,94$  in the cationic axe had a good soil quality, because they were grouped in sector corresponding to the TUZ and TUB; while the LUT which showed values superior to  $7,27$  or closed, then, soil had a poor quality, because it is grouped in sector of TUM. When this equation was applied with values generated in this study, the obtained values were  $-61,67$  for the TUB,  $-62,26$  for the TUZ and  $-44,86$  for the TUM, the TUB and the TUZ showed a similar behavior with a better soil quality, whereas the

**Cuadro 2. Funciones discriminantes canónicas generada para los tres tipos de uso de la tierra evaluados la profundidad de 0-10 cm en la planicie de Coro, estado, Falcón.**

**Table 2. Cationic discriminant functions generated by the three types of land use evaluated of 0-10 cm depth in Coro plain, Falcón state.**

	1	2
Constante	-18,87	3,72
P	0,20	0,04
Da	-5,34	-8,15
Vi	0,09	-0,03
resp	-0,09	-0,03
pH	-1,58	2,63

P: fósforo, Da densidad aparente, Vi: velocidad de infiltración, Resp: respiración edáfica

res de densidad aparente, y mayores valores de actividad biológica, P y menores valores de pH) (cuadro 2). Esto indicó que en este primer grupo el TUT-Z al parecerse más al bosque presentó el manejo mas adecuado, en el segundo grupo se ubicó el TUT-M, el cual presentó condiciones físicas desfavorables (mayor densidad aparente), problemas severos de salinidad y una baja actividad biológica, produc-

TUM was grouped in other sector, by evidencing a better soil quality.

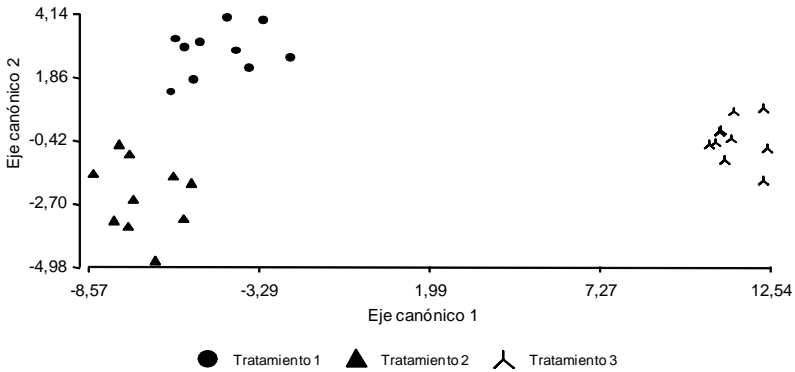
Finally, indicators valuation was carried, that consisted in to give a value as a function of the importance, (Roomig, 1994); Torres *et al.*, (2006), giving a consideration of 6 when variable was very good, 4 when variable was god, 2 when it was bad and 0, when it was very bad; subsequently, the soil index quality

**Cuadro 3. Tabla de clasificación cruzada para evaluar el agrupamiento de los tres tipos uso de las tierra evaluados en la planicie Coro, estado, Falcón.**

**Table 3. Table of crossed classification to evaluate the grouping of three types of land use evaluated in the Coro plain, Falcón state.**

Grupo	1	2	3	Total	Error (%)
1	10	0	0	10	0,00
2	0	10	0	10	0,00
3	0	0	10	10	0,00
Total	10	10	10	30	0,00

Grupo 1: TUT Bosque natural); Grupo 2: TUT-Zábila, Grupo 3: TUT: melón



**Figura 3. Diagrama de dispersión de los tipos de uso de la tierra evaluados, mediante análisis discriminante Tratamiento 1: TUT Bosque natural); Tratamiento 2: TUT-Zábila, Tratamiento 3: TUT: melón.**

**Figure 3. Dispersion diagram of land use types evaluated, through discriminant analysis. Treatment 1: LTU Natural forest); Treatment 2: LTU-Aloe, Treatment 3: LTU: Melon.**

to de un menor aporte de materia orgánica, que a su vez se tradujo en una menor disponibilidad de P.

Una vez seleccionado los indicadores se procedió a construir los valores críticos (cuadro 4), los cuales podrían ser usados posteriormente para hacer un seguimiento de la calidad del suelo y de los tipos de uso de la tierra que se establecerán en la zona como pastizales, frutales, para ello se generaron las diferentes categorías alto: aquellas valores por encima de las medias TUB y TUZ, medio valores promedios de TUB y TUZ, valores bajos los que corresponden al TUM y valores muy bajos correspondientes al TUM.

Para la construcción del índice se generó una función discriminante donde el índice de calidad de suelos fue igual a  $ICS: -18,87 + 0,20 P - 5,34$  Densidad aparente  $+ 0,09 Vi - 1,58 pH$ , donde los TUT, que presenten valo-

was built with the sum of all the indicators, as higher the soil quality value was; in this case, six variables were valued for any type of land use. High quality soil was those considered between 30 and 36, one of good quality, those between 25 and 30, one of bad quality, those considered between 15 and 25, and one of very bad quality, between 0 and 15. This criterion was used in this study and the land quality index valuation is shown as follows.

Final valuation, when using critical values, did not permitted an adequate separation between management groups as a function of its quality, this was caused by two variables, P and infiltration speed, which were selected as indicators in the statistical analysis being strongly altered by the agronomical management that melon received as

#### Cuadro 4. Construcción de valores críticos para los indicadores seleccionados a partir del análisis de componentes principales.

**Table 4. Construction of critical values for selected indicators from mean components analysis.**

Variable	Muy bueno	Bueno	Malo	Muy malo
Densidad aparente	<1,55	1,54-1,74	1,75-1,80	>1,80
Fósforo	>54,20	54,19-10,70	10,69-2,70	<2,70
Velocidad de infiltración	>46,17	46,16-18,08	18,07-9,00	<9,00
Respiración Basal	>250,13	250,12-218,39	218,39-117,50	<117,50
pH	6,00- 6,73	6,73-7,67	7,67-7,90	>7,90

res entre -3,00 a -5,94 en el eje canónico tuvieron una buena calidad del suelo, ya que se agruparon en el sector anteriormente correspondiente a los TUZ y TUB; mientras que, los TUT que presentaron valores superiores a 7,27 o cercanos, entonces el suelo fue de mala calidad, ya que se agrupa en el sector donde esta el TUM. Cuando se aplicó esta ecuación con los valores generados en el estudio, los valores obtenidos fueron de -61,67 para el TUB, -62,26 para el TUZ y de -44,86 para el TUM, el TUB y el TUZ presentaron un comportamiento similar con una mejor calidad del suelo, mientras que el TUM se agrupó en otro sector, indicando una menor calidad del suelo.

Finalmente se procedió a la valoración de los indicadores, que consistió en asignar un valor en función de la importancia Romig (1994); Torres *et al.* (2006), dándole una ponderación de 6 cuando la variable fue muy buena, 4 cuando la variable fue Buena, 2 cuando fue mala y 0 cuando fue muy mala, luego el índice de calidad

a product of tillage and fertilization, so, it was possible a misunderstood interpretation about similar values of these managements respect to the other managements, which showed that this type of use contributed to improve the soil quality. To validate this equation and these critical values will be necessary to take samples in the same agroecological conditions and to introduce them in these proposal models, to observe that there was an adjustment to the agroecological reality of region and soils can be used with a total reliability in the next soil quality and sustainability projects that nowadays are performed in region.

## Conclusions

Values of physical variables reported for LUT Aloe were similar to natural forest which indicates that this use have takes to the soil recovery, whereas the Melon use could takes to a damage on soil quality when showing unfavorable physical conditions.

de suelo se construyó con la sumatoria de todos los indicadores, mientras más alto fue este valor la calidad de suelo fue mayor; para este caso se valoraron las seis variables para cada tipo de uso de la tierra. El suelo de alta calidad fue aquel ponderado entre 30 y 36, uno de buena calidad el ponderado entre 25 y 30, uno de mala calidad el ponderado entre 15 y 25 uno de muy mala calidad el ponderado entre 0 y 15. Este criterio fue empleado en este estudio y la valoración del índice de calidad de tierra se presenta a continuación (cuadro 5).

La valoración final, al usar los valores críticos, no permitieron una separación adecuada de los grupos de manejo en función de su calidad, esto fue debido a que dos variables, el P y la velocidad de infiltración, fueron seleccionadas como indicadores en el análisis estadístico estando las mismas fuertemente alteradas por el manejo agronómico que se le dio al melón producto de la labranza y la fertilización, por lo que se pudo interpretar erradamente que valores similares de estos manejos con respecto a los otros manejos indicaron, que este tipo de uso contribuyó a mejorar la calidad del suelo. Para validar esta ecuación y estos valores críticos será necesario tomar muestras en las mismas condiciones agroecológicas e introducir las en estos modelos propuestos, para observar que tanto se ajustó el mismo a la realidad agroecológica de la zona, de tal manera de emplearlos con total confianza en el proyecto de seguimiento de calidad de suelo y de sostenibilidad que actualmente se adelantan en la zona bajo estudio.

The apparent density, phosphorous, infiltration speed, basal breathing and pH variables, were the more sensitive to the use types, because they showed changes in soil behavior as a function of land management intensity, by permitting to detect that degradation problems in the studied region were compacting, salinization and soil fertility, therefore, these parameters were selected as soil quality indicators.

Improvement on soil quality, in Aloe use was result of organic matter addition, which improved its fertility, promoted soil biological activity, besides of improving the soil physical behavior and the structure that increased soil porosity and water infiltration,

Critical values generated did not permit to obtain differences between management groups, because in LUT Melon, high infiltration values and phosphorous, which distorted results; however, the discriminant equation developed was efficient in separate groups as a function of soil quality when showing a mistake rate of zero per cent.

## Acknowledgements

Authors want to express their thanks to the financial institutions the research process: UCV-UNEFM-UCLA project FONACIT "Indicators development and validation for evaluation of sustainability of land use and design of sustainability agricultural systems" Project code: G-2002000557 and to the Consejo de

**Cuadro 5. Ponderación de los indicadores seleccionados en función de los tipos de uso de la tierra evaluados en la planicie de Coro, estado Falcón.**

**Table 5. Pondering of selected indicators as a function of types of land use evaluated in Coro plain, Falcon state.**

Variable	TUB	TUZ	TUM
Densidad aparente	4	0	2
Fósforo	2	2	4
Velocidad infiltración	2	4	4
Respiración Basal	4	4	2
pH	2	4	4
Valoración final	14	14	16

TUB: Suelo bajo bosque natural; TUM: melón bajo manejo convencional; TUZ: zábila bajo fertilización orgánica y riego por goteo.

## Conclusiones

Los valores de las variables físicas reportados para TUT Zábila fueron similares a los del bosque natural lo que indica que este uso ha conllevado a la recuperación del suelo, mientras que el uso melón pudo conducir a un deterioro de la calidad del suelo al presentar condiciones físicas desfavorables.

Las variables densidad aparente, fósforo, velocidad de infiltración, respiración Basal y pH fueron los más sensibles a los tipos de uso, ya que reflejaron cambios en el comportamiento del suelo en función de la intensidad de manejo de la tierra, permitiendo detectar que los problemas de degradación en la zona estudiada fueron compactación, salinización y la fertilidad del suelo, por lo tanto estos parámetros fueron seleccionados como indicadores de calidad de suelo.

El mejoramiento en la calidad de suelo, en el uso Zábila fue producto de la incorporación de materia orgánica,

Desarrollo Científico and Tecnológico, UCLA (CDCHT), project registered under code No. 001-RAG-2003.

*End of english version*

que mejoró la fertilidad del mismo, promovió la actividad biológica en el suelo, además de mejorar el comportamiento físico del suelo al mejorar la estructura que incrementó la porosidad del suelo y la infiltración del agua.

Los valores críticos generados, no permitieron obtener diferencias entre los grupos de manejo, esto debido a que en TUT melón se presentaron valores altos de infiltración y fósforo, los cuales distorsionaron los resultados; no obstante, la ecuación discriminante desarrollada fue eficiente en separar los grupos en función de la calidad de suelo al presentarse una tasa de error del cero por ciento.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a las instituciones que financiaron el proceso de investigación: UCV-UNEFM-UCLA proyecto FONACIT "Desarrollo y validación de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad del uso de la tierra y el diseño de sistemas agrarios sostenibles" Código del Proyecto: G-2002000557 y al Consejo de Desarrollo científico y Tecnológico de la UCLA (CDCHT) proyecto registrado bajo el código 001-RAG-2003.

## Literatura citada

- Abbasi, M. y G. Rasool. 2005. Effects of different land-use types on soil quality in the hilly area of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir. *Acta Agriculturae Scandinavica, B, Volume 55 (3): 221-228.*
- Aoki, A.M. y R. Sereno. 2006. Evaluación de la infiltración como indicador de la calidad de suelo mediante un microsimulador de lluvias. *Agriscientia, 13 (1): 23-31*
- Assis, R.L. y K.P. de Lanças. 2003. Effect of the adoption time of the no till system in the soil maximum bulk density and in the optimum moisture content for soil compaction in a red dystroferic Nitosol. *Energia na agricultura. 18: (2)22-33*
- Bouma, J. 1997. The land use system approach to planning sustainable land management at several scales. *ITC Journal ¾ Enchede. The Netherlands. pp 237-242.*
- Dalurzo, H.C., D. Toledo y S. Vásquez. 2005. Estimación de parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso citrícola. *Ciencias del Suelo Argentina 23 2: 159-165, 159*
- Dick, R. D. Breakwell y R. Turko. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measures as integrative microbiological indicators. *Methods for assessing soil quality. SSSA Spec Publication 49. p 3-21*
- Doran, D.C. 2000. Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. *Soil Quality Institute. 72 p.*
- Instituto de Edafología. 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el laboratorio general del instituto de edafología. UCV. Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 89 p.
- Lister, T.W., J.A. Burger y S.C. Patterson. 2004. Role of vegetation in mitigating soil quality impacted by forest harvesting. *Sci. Soc. Am. J. 68:263-271.*
- Logsdon, S.D. y D.L. Karlen. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research 78 (2): 143-149.*
- Loveland, P. y J. Webb. 2002. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research 70: 1- 18.*
- Martínez, L. 2004. La calidad de las tierras como parte de la evaluación de la sostenibilidad agrícola: un caso en cultivos de papa. *Memorias XVI Congreso Latinoamericano de suelos. Cartagena de Indias Colombia en CD-ROM.*
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnósticos de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Alcance. Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. N° 32. 9 p*
- Romig, D., M. Garilas y R. Harris. 1994. Farmer-based soil health scorecard. *Agronomy Abstract Society of America. Madison Wisconsin. 288 p.*
- Seybold, C.A., Grossman, R.B. y F.J. Pierce. 2003. On-site assessment of use dependent soil properties in

- Michigan. Common. Soil Sci. Plant Anal 34: 765-780.
- Stotzky, G. 1965. Microbial respiration. *In: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbial Properties.* C. A. Black, D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger y F. E. Clark (eds). Am. Soc. Agron. Madison. pp. 1550-1572.
- 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 Guarico Venezuela. *Revista Bioagro* 18 (2): 83-91.