

Cambios en la calidad de dos suelos bajo el uso de torobas en región semiárida Venezolana*

Changes in the quality of two soils under torobas use in semiarid region of Venezuelan

Miguel Sánchez¹, Nectali Rodríguez¹, Duilio Torres^{2§}, Héctor Yendis³, Miklas López¹ y Frank Zamora⁴

¹Complejo Docente el Hatillo-Departamento de Producción y Desarrollo Agrícola. C. P. 4101. (msanchezcoro@gmail.com; nectajo@gmail.com; mlopez@yahoo.com). ²Universidad Centro occidental Lisandro Alvarado-Departamento de Química y Suelos. ³Complejo Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola-Complejo docente el Hatillo. (hyendis@gmail.com). ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas-Estación Experimental Falcón y Complejo Docente el Hatillo. Departamento de Producción y Desarrollo Agrícola. C. P. 4101. (fzamora@inia.gob.ve; fzamora1@gmail.com). [§]Autor para correspondencia: duiliotorres@ucla.edu.ve.

Resumen

Con el objeto de evaluar el dispositivo antierosivo denominado toroba, se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo, luego de 20 años de funcionamiento del mismo. Para ello, se tomaron muestras de suelo de dos torobas: una, ubicada en la zona de Zamurito; otra, en Mide, ubicada en la zona occidental del estado Falcón. Se obtuvieron muestras de suelo de acuerdo con la posición de la toroba (alta, media y baja). Las muestras se colectaron a la profundidad (0-20 cm). Se evaluaron las siguientes propiedades: distribución de tamaño de partículas, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, espacio poroso total, porcentaje de macro y microporos, velocidad de infiltración y estabilidad de agregados. En cuanto a las propiedades químicas, se evaluó la reacción del suelo (pH), la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO) y el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio disponible (K). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y pruebas de media de Tukey, usando el programa estadístico Infostat. Los resultados mostraron que las condiciones físicas más adversas en el sector Zamurito, estuvieron asociados al pobre desarrollo estructural y los altos contenidos de arcilla y lim. En el sector Mide, las condiciones físicas favorecieron la infiltración del agua. La mayor acumulación de nutrientes se observó en el sector Zamurito, producto de los aportes de materia orgánica proveniente de los restos vegetales.

Abstract

In order to evaluate the antierosive device called toroba, physical and chemical properties of the soil were determined, after 20 years of operation thereof they. For this purpose, soil samples were taken two torobas: one located in the area of Zamurito; another, in Mide, located in western Falcon state. Soil samples according to the position of the toroba (high, medium and low) were obtained. Samples were collected at depth (0-20 cm). The particle size distribution, bulk density, saturated hydraulic conductivity, and total pore space and micropores percentage of macro, infiltration rate and aggregate stability: The following properties were evaluated as for the chemical properties, soil reaction (pH), electrical conductivity (CE), organic matter (MO) and nitrogen (N), phosphorus (P) and available potassium (K). Data were analyzed by analysis of variance and Tukey tests average, using the statistical program Infostat. The results showed that the most difficult in the industry Zamurito physical conditions were associated with poor structural development and high content of clay and lim. Mide in the sector, physical conditions favored water infiltration. Most nutrient accumulation was observed in the Zamurito sector product of the contributions of organic matter from plant debris.

* Recibido: noviembre de 2015
Aceptado: febrero de 2016

Palabras clave: aridez, desertificación, fertilidad.

Keywords: aridity, desertification, fertility.

Introducción

Las zonas áridas se caracterizan por precipitaciones de corta duración y alta intensidad (Rango *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2007), que producen un marcado efecto erosivo sobre la fragilidad de los suelos, así como elevada evapotranspiración, y contribuyen a determinar y condicionar el tipo y desarrollo de una agricultura adaptada a estas limitantes (Ries y Hirt, 2008). En estas regiones, los ecosistemas son frágiles, la vegetación es escasa y, por tanto, los procesos erosivos ocurren rápidamente luego de una precipitación intensa. El mantenimiento de la vegetación nativa, así como cualquier mecanismo que permita disminuir la escorrentía, aumentando la infiltración, permitirán mejores condiciones para el establecimiento de la agricultura de zonas áridas y semiáridas, por lo cual las diversas alternativas existentes merecen estudiarse y difundirse.

Fortanelli *et al.* (2000) señalan que, a nivel mundial, existen aproximadamente 49 millones de kilómetros cuadrados considerados ecosistemas áridos, semiáridos o subhúmedos. Estos comprenden un complejo grupo de regiones naturales ubicadas en varias áreas del planeta, interrelacionadas con otros ecosistemas, debido a su potencial natural y cultural para un desarrollo sostenible (FAO, 2007). En la América tropical, alrededor de 15 000 000 km² son afectados por climas secos que moldean el cinturón árido peri-caribeño, incluyendo el norte de Venezuela y Colombia, las islas del Caribe, una buena parte de América Central, especialmente México y Guatemala, y el noroeste de Brasil (Díaz, 2001).

En Venezuela, los ecosistemas semiáridos ocupan 41 023 km², los cuales se distribuyen desde la Goajira hasta el golfo de Cariaco, además de la altiplanicie de Barquisimeto y las mesas áridas de los Andes. Adicionalmente, se ha establecido que 11 420 km² de suelos presentan problemas de acidez, salinidad o sodicidad. El mayor porcentaje de estos suelos está ubicado en la zona costera del estado Sucre, así como en los estados Anzoátegui, Falcón, Carabobo y Lara (Matteucci y Colma, 1997). Dado esto, el desarrollo de actividades agroindustriales en los ecosistemas áridos y semiáridos de Venezuela ha sido limitado, debido a que implica afrontar una serie de factores adversos, como: falta de agua, mínima cubierta vegetal, bajo perfil productivo, y escaso contenido de materia orgánica, entre otros (Pedroza *et al.*, 2004).

Introduction

In the drylands are characterized by rainfall of short duration and high intensity (Rango *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2007), which produce a strong erosive effect on the fragile soils and high evapotranspiration, and contribute to determine the type and condition and development of agriculture adapted to these constraints (Ries and Hirt, 2008). In these regions, ecosystems are fragile, vegetation is sparse and therefore erosional processes occur quickly after heavy precipitation. Maintenance of native vegetation and any mechanism to reduce runoff, increasing infiltration, allow better conditions for the establishment of agriculture in arid and semiarid areas, which deserve the various alternatives studied and disseminated.

Fortanelli *et al.* (2008) note that, globally, there are approximately 49 million square kilometers considered arid, semiarid and sub-humid. These comprise a complex group of natural regions located in various areas of the planet, interconnected with other ecosystems, because of its natural and cultural potential for sustainable development (FAO, 2007). In tropical America, about 15 million km² are affected by dry weather that shape the peri-caribbean arid belt, including northern Venezuela and Colombia, the Caribbean islands, much of Central America, especially Mexico and Guatemala, and northwestern Brazil (Diaz, 2001).

In Venezuela, semiarid ecosystems occupy 41 023 km², which are distributed from the Guajira to the Gulf of Cariaco, in addition to the high plateau of Barquisimeto and arid tables of the Andes. Additionally, it has been established that 11 420 km² of soils have problems of acidity, salinity or sodicity. The highest percentage of these soils is located in the coastal area of Sucre state, as well as in the states of Anzoátegui, Falcon, Carabobo and Lara (Matteucci and Colma, 1997). Given this, the development of agro-industrial activities in arid and semiarid ecosystems of Venezuela has been limited because it involves facing a number of adverse factors, such as lack of water, low vegetation cover, low production profile and low content of matter organic, among others (Pedroza *et al.*, 2004).

One of the problems that most often affects the quality of soils in arid areas is erosion, so alternatives must be sought for reduction. Among the proposed alternatives is the use

Uno de los problemas que mayormente afecta la calidad de los suelos en las zonas áridas, es la erosión, por lo cual deben buscarse alternativas para su reducción. Entre las alternativas propuestas está el uso de barreras vivas, las cuales son obstáculos densos al nivel de la superficie del suelo formados con plantas (pastos, arbustos), con el propósito de modificar y reducir la velocidad y el esfuerzo cortante de la escorrentía en una ladera (Dabney *et al.*, 1993; Van Dijk *et al.*, 1996). Las barreras vivas se han utilizado con éxito con especies como *Gliricidia sepium* L., las cuales han probado su utilidad para reducir la escorrentía y propiciar la formación paulatina de terrazas.

Otra práctica usada para el control de la erosión son las torobas, las cuales son dispositivos antierosivos construidos con estacas de madera y restos vegetales colocados en forma perpendicular a la dirección de la escorrentía. El objetivo de la toroba es disminuir el efecto erosivo de la escorrentía y contribuir a una mejor distribución del agua para que se acumule y se infiltre. Existen distintos tipos de torobas: una, cuyo objetivo principal es desviar el cauce principal para distribuirlo hacia las parcelas, se denomina toroba de derivación.

Uno de los aspectos más relevantes derivados del uso de torobas a largo plazo es formación de miniterrazas y el horizonte antrópico, que indudablemente conducirá a una mejora de la fertilidad del suelo, dado la acumulación de sedimentos con alto contenido de minerales y materia orgánica aportada por los residuos vegetales.

La hipótesis de la investigación es que luego de 20 años de implementación de las torobas, se observará un mejoramiento en las condiciones, físicas e hidrológicas del suelo, así mismo considerando que las torobas promueven la formación de miniterrazas, esto conllevó a la acumulación de materia orgánica y de nutrientes en el suelo, por lo tanto se espera que en los suelos donde se implementó el dispositivo toroba, las condiciones físicas e hidrológicas y de fertilidad sean superiores a las del suelo bajo condiciones naturales, donde las precipitaciones intensas y la escasa cobertura vegetal conllevaron a pérdidas del suelo por erosión, por lo tanto el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la toroba sobre el mejoramiento la calidad del suelo en términos de fertilidad, producto de la acumulación de nutrientes proveniente de sedimentos minerales y materia orgánica.

of live barriers, which are dense obstacles to the level of the soil surface formed with plants (grasses, shrubs), in order to modify and reduce the speed and shear runoff in a slope (Dabney *et al.*, 1993; Van Dijk *et al.*, 1996). Hedgerows have been used successfully with species such as *Gliricidia sepium* L., which have proven useful in reducing runoff and promote the gradual formation of terraces.

Another practice used for erosion control are torobas, which are anti-erosion devices built with wooden stakes and plant debris placed perpendicular to the direction of the runoff. The aim of the toroba is to reduce the erosive effect of the runoff and contribute to a better distribution of water to building up and infiltrate. There are different types of torobas: one, whose main objective is to divert the main channel for distribution to the plots, is called toroba bypass.

One of the most important aspects arising from the use of torobas long-term training miniterrazas and the anthropic horizon, which will undoubtedly lead to improved soil fertility, given the accumulation of sediments rich in minerals and organic matter provided by plant residues.

The research hypothesis is that after 20 years of implementation of the torobas, an improvement will be seen in conditions, physical and hydrological soil, also considering that torobas promote the formation of mini terraces, this led to the accumulation of matter organic and nutrients in the soil, therefore it is expected that in soils where the toroba device was implemented, the physical and hydrological and fertility conditions are higher than soil under natural conditions, where heavy rainfall and low coverage plant entailed a loss of soil by erosion, therefore the objective of this research was to evaluate the effect of toroba on improving soil quality in terms of fertility, resulting from the accumulation of nutrients from mineral sediments and organic matter.

Materials and methods

Description of the study area

The study was conducted in the towns of Mide municipality Urumaco, Falcon state, between the coordinates 11° 00' and 11° 04' north latitude and between 70° 13' and 70° 17' west

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

El estudio fue realizado en las localidades de Mide municipio Urumaco, estado Falcón, entre las coordenadas 11° 00' y 11° 04' de latitud norte y entre 70° 13' y 70° 17' longitud oeste y Zamurito municipio Buchivacoa, estado Falcón con coordenadas 11° 03' latitud norte y 70° 33' longitud oeste, ambas ubicadas en la zona semiarida venezolana al noroccidente del estado Falcón (Figura 1).

La zona de Mide, es típica del bosque seco tropical, con un régimen pluviométrico promedio de 400 mm/año característico del semiárido falconiano, distribuido en dos picos de precipitación: el primero de mayo a junio y el segundo de septiembre a noviembre (COPLANARH, 1975). Los sistemas de producción predominantes en la zona son: la cría extensiva de ganado caprino y la agricultura de subsistencia bajo condiciones de secano para producir maíz, millo y frijol.

Los suelos del sector Mide, pertenecen se clasifican taxonómicamente como Calciorthents, ubicados desde el punto de vista geomorfológico en las terrazas aluviales (T) del río Lagarto, su relieve es plano y de forma convexa, poseen pendiente general entre 1 y 2.5%, con zonas con pendientes de 3.5% (COPLANARH, 1975). Son suelos renovados constantemente por aportes del río Lagarto, poseen una textura franco arenosa (Fa) a franco-arcillosa (FA) de rápida a moderaa permeabilidad, de moderada a rápida infiltración, con una estructura débil en la superficie y moderada en su profundidad, la fertilidad es de moderada a baja, son altamente susceptibles a la erosión, sobre todo en surcos y cárcavas (Martínez *et al.*, 1989).

La zona de Zamurito se ubica en el área corresponde a un monte espinoso tropical, presenta una temperatura proemdio de 29 °C, una evaporación de 1 708 mm anuales y una precipitación promedio de 490 mm. Los suelos del sector Zamurito se clasificaron taxonómicamente como Haplargids, con pendientes generales entre 0.5 y 1.5% y localmente hasta 3% ubicados desde el punto de vista geomorfológico dentro de un glacis. Lo suelos se caracterizan por ser franco-arcilloso a franco-arenosos con bajo contenido de materia orgánica, pH de 7.2, alto contenido de fósforo, potasio y calcio con valore s promedios de 122, 496 y 2 000 mg kg⁻¹ respectivamente, al igual que Mide la principal actividad agrícola es la explotación caprina (Sánchez *et al.*, 2005).

longitude and Zamurito municipality Buchivacoa, Falcon state with coordinates 11° 03' north latitude and 70° 33' west longitude, both located in the Venezuelan semiarid area to the northwest of Falcon state (Figure 1).

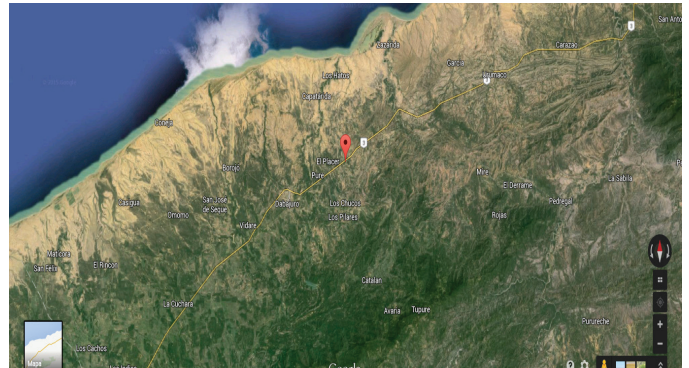


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo para la evaluación de funcionamiento de torobas en los sectores Mide y Zamurito en Falcón, Venezuela.

Figure 1. Location of sampling sites for performance evaluation of torobas in sectors Mide and Zamurito in Falcon, Venezuela.

The area Mide is typical of tropical dry forest, with an average rainfall rate of 400 mm/year characteristic of falconian semiarid, distributed in two peaks of precipitation: the first from may to june and the second from September to November (COPLANARH, 1975). The predominant production systems in the region are extensive goat rearing and subsistence farming under dry conditions to produce corn, millet and beans.

Soils Mide sector they belong taxonomically classified as Calciorthents, located from the geomorphological point of view on the alluvial terraces (T) of the Lagarto river, the terrain is flat and convex, have generally slope between 1 and 2.5%, with areas with slopes of 3.5% (COPLANARH, 1975). The soils are constantly renewed by contributions from the Lagarto River, they have a sandy to moderaa permeability loam (Fa) to clay loam (FA) quickly, moderate to rapid infiltration, with a weak structure on the surface and moderate in depth, fertility is moderate to low, they are highly susceptible to erosion, especially in rills and gullies (Martinez *et al.*, 1989).

The Zamurito area is located in the area corresponds to a thorny tropical forest, has a average temperature of 29 °C, an evaporation of 1 708 mm and an average annual rainfall of 490 mm. The sector Zamurito soils were taxonomically classified as Haplargids with general slopes between 0.5 and 1.5% to 3% and locally located from the geomorphological point of view within a glacis. What soils are characterized by clay loam to

Diseño de muestreo. El experimento se realizó siguiendo un diseño en bloques al azar; para ello, se estableció una transecta perpendicular a la disposición de las torobas y se tomaron seis puntos en la dirección de la transecta (Figura 2). Cada sitio se evaluó por separado y dentro de los mismos, los tratamientos se arreglaron en forma factorial, donde se evaluó el uso del dispositivo antierosivo (toroba y bosque natural) y la posición en la toroba (alta, media y baja). Cada posición se consideró en las dos transectas y se evaluaron dos condiciones por sitios (toroba y bosque), para seis tratamientos por cada sitio de muestreo (Mide y Zamurito) para un total de 12 unidades experimentales.

Variables evaluadas. A las muestras de suelo secadas y tamizadas (2 mm) se les determinó distribución de tamaño de partículas (Bouyucos, 1936), carbono orgánico (Walkley y Black, 1934), pH (Miller y Kisell, 2010), conductividad eléctrica (Gavlak *et al.*, 2003), nitrógeno (Kjeldahl, 1883); contenido de fósforo (Olsen *et al.*, 1954), potasio (Pratt, 1951), calcio y magnesio (Doll y Lucas, 1973).

Para la determinación de los atributos físicos distribución de tamaño de partículas, densidad aparente (D_a), porosidad (EPT), macroporosidad (f_a), microporosidad (f_w), y conductividad hidráulica saturada (K_s) del suelo se utilizaron las muestras de suelo no disturbadas, obtenidas a partir de un muestreador tipo Uhland marca Humboldt modelo H4203.3, siguiendo la metodología descrita por Pla (1983), la velocidad de infiltración fue determinada por el método propuesto por Doran (2000).

Análisis estadístico. El análisis estadístico consistió en realizar un análisis de varianza según el muestreo realizado, mediante comparación de las posiciones dentro de la toroba y en cada localidad por separado. El modelo estadístico aplicado se corresponde con un experimento factorial con dos factores: posición dentro de la toroba (alta, media, baja) y dispositivo (toroba y bosque natural). Para cada combinación de posición y dispositivo se tomaron 6 muestras. El modelo estadístico aplicado fue:

$$y_{ijk} = \mu + F_i + P_j + (FP)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: F_i = efecto debido a la posición dentro de la toroba, P_j es el efecto debido al uso del dispositivo, $(FP)_{ij}$ = efecto de la interacción entre la posición y la presencia del dispositivo, y ε_{ijk} = error. En los casos que fue necesario se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($p < 0.05$). El análisis estadístico se realizó usando el paquete estadístico computarizado Infostat versión 1.1 (2008).

sandy loam with low organic matter content, pH of 7.2, high phosphorus, potassium and calcium means values of 122, 496 and 2 000 mg kg⁻¹, respectively, as which Mide the main agricultural activity is the goat farm (Sanchez *et al.*, 2005).

Sampling design. The experiment was conducted following a randomized block design; for this, a transect perpendicular to the arrangement of the torobas was established and six points were taken in the direction of the transect (Figure 2). Each site was evaluated separately and within them, the treatments were arranged in factorial form, where the use of antierosivo device (toroba and natural forest) and the position toroba (high, medium and low) was evaluated. Each position was considered in the two transects and two conditions were evaluated sites (toroba and forest), for six treatments for each sampling site (Mide and Zamurito) for a total of 12 experimental units.

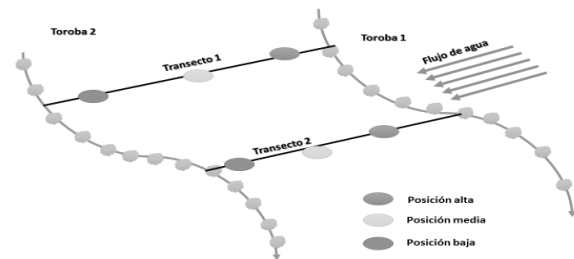


Figura 2. Diseño de muestreo para la evaluación de funcionamiento de torobas en los sectores Mide y Zamurito en Falcón, Venezuela.

Figure 2. Sample design for performance evaluation torobas in Mide and Zamurito sectors in Falcon, Venezuela.

Variables evaluated. A sample of dried and sieved soil (2 mm) were determined distribution of particle size (Bouyucos, 1936), organic carbon (Walkley and Black, 1934), pH (Miller and Kisell, 2010), electrical conductivity (Gavlak *et al.*, 2003), nitrogen (Kjeldahl, 1883); phosphorus content (Olsen *et al.*, 1954), potassium (Pratt, 1951), calcium and magnesium (Doll and Lucas, 1973).

To determine the saturated physical attributes distribution of particle size, bulk density (D_a), porosity (EPT), macroporosity (f_a), microporosity (f_w), and hydraulic conductivity (K_s) soil soil samples were used not disturbed, obtained from a sampler type Uhland mark Humboldt model H4203.3, following the methodology described by Pla (1983), the infiltration rate was determined by the method proposed by Doran (2000) method.

Statistic analysis. Statistical analysis consisted of an analysis of variance according to the sampling performed by comparing the positions within the toroba and in

Resultados y discusión

Los suelos del sector Zamurito presentaron mayor contenido de partículas muy finas (Cuadro 1), por lo cual se observó un deterioro progresivo de sus condiciones físicas, lo que conllevó a problemas de compactación y peores condiciones hidrológicas, los cuales potencian los riesgos de erosión hídrica. En el sector Mide los problemas de deterioro físico fueron menores, dado una menor proporción de partículas muy finas, además del buen funcionamiento de la toroba, lo cual redujo el riesgo potencial de erosión.

each location separately. The applied statistical model corresponds to a factorial experiment with two factors: position within the toroba (high, medium, low) and device (toroba and natural forest). For each combination of device 6 position and sampled. The statistical model was applied:

$$y_{ijk} = \mu + F_i + P_j + (FP)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Where: F_i = the effect due to the position within the toroba, P_j : the effect due to the use of device, $(FP)_{ij}$ = the effect of interaction between the position and device presence,

Cuadro 1. Distribución de tamaño de partículas en los sectores de Mide y Zamurito.

Table 1. Distribution of particle size in sectors Mide and Zamurito.

Sectores	Arena					Arena total	Limo	Arcilla	Clase textural
	Muy gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy fina				
Sector Mide									
0-10 ctms	1.12	3.20	7.58	14.10	13.82	39.92	53.18	7.00	FL
10-20 ctms	1.56	3.58	7.05	12.73	16.72	39.88	51.44	8.66	FL
Sector Zamurito									
0-10 ctms	0.78	2.38	5.22	9.61	26.34	44.33	46.34	9.33	FL
10-20 ctms	0.76	2.48	4.05	8.73	23.72	29.85	51.44	8.66	FL

Arena muy gruesa de 2-2 mm; gruesa 1-0.5 mm, media 0.25-1 mm; fina 0.25-0.1 mm y muy fina 0.1- 0.05 mm.

Densidad aparente. En el sector Mide no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) al comparar la toroba con el bosque natural en ninguna de las posiciones evaluadas a lo largo de la transecta, igual comportamiento fue observado en el sector Zamurito (Cuadro 2). La densidad aparente tiende a ser mayor en el sector Zamurito, en comparación con el sector Mide, con un valor de densidad aparente de 1.54 Mg m³, en comparación con 1.51 Mg m³, reportados en Zamurito. Lo anterior, indica una mayor tendencia a la compactación en los suelos de Zamurito, debido al predominio de partículas más finas que favorecen los procesos de compactación y restringen la entrada y flujo de agua en el suelo.

and ϵ_{ijk} = the error. Where it was necessary comparisons Tukey ($p < 0.05$) they were performed. Statistical analysis was performed using the statistical package Infostat computerized version 1.1 (2002).

Results and discussion

Soils Zamurito industry had a higher content of very fine particles (Table 1), thus a progressive deterioration of his physical condition was observed, which led to problems

Cuadro 2. Densidad aparente en los sectores Mide y Zamurito en suelos bajo el uso de dispositivo Toroba.

Table 2. Apparent density in sectors Mide and Zamurito the use of soils under toroba device.

Tratamientos	Sector Mide			Sector Zamurito		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	baja
Toroba	1.51	1.51	1.53	1.52	1.52	1.57
Bosque natural	1.49	1.51	1.49	1.51	1.54	1.56

De acuerdo con los resultados obtenidos la densidad aparente poco entre los sitios y no se observó cambios entre el sistema bajo Toroba en comparación al sistema bajo bosque, estos resultados sugieren que el sistema de toroba ha permitido mantener la densidad aparente en valores similares a lo del bosque, sin embargo los valores están por encima de los valores críticos establecidos por Florentino (1998) para suelos de clase textural similar, por lo que es evidente un proceso de compactación en ambas condiciones. Los resultados son similares a los reportados por González-Pereza y Dezzeo (2011), quienes no encontraron diferencias al comparar la densidad aparente de un bosque seco tropical venezolano con pastizales jóvenes y viejo, estos autores esperaban valores altos de densidad aparente alto en los pastizales producto del sobrepastoreo, el cual es una de las causas principales del deterioro de las propiedades físicas en las regiones secas, especialmente por el pastoreo caprino (Sharrow *et al.*, 2007 y Geissen *et al.*, 2009).

Porosidad. En Mide, los valores de espacio poroso y microporosidad tienden a ser más altos bajo bosque natural en comparación a la toroba, incluso en la posición baja el espacio poroso fue significativamente más alto en el bosque natural en comparación a la toroba ($p < 0.05$), mientras que en la posición media los valores de micro porosidad fueron más alto en el bosque natural (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porosidad en el sector Mide en suelos bajo el uso de dispositivo Toroba.

Table 3. Porosity Mide sector in the soils under toroba use device.

Tratamientos	Espacio poroso			Macroporosidad			Microporosidad		
	Alta	Media	baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	baja
Toroba	44.64	44.28	44.21 A	13.95	13.03	11.22	30.97	30.51 A	32.99
Bosque natural	44.70	46.84	47.48 B	14.25	13.01	12.53	33.49	34.23 B	34.95

En Zamurito no se observaron cambios ($p < 0.05$) para las variables porosidad, macroporosidad y microporosidad al comparar la toroba con el bosque natural (Cuadro 4), tampoco se observaron cambios a lo largo del transecto. Sin embargo la tendencia mostrada es que el dispositivo toroba tiende a mejorar las condiciones físicas del suelo con respecto a las condiciones iniciales, sin embargo el tiempo de implementación no es el suficiente para que estos cambios sean significativos.

Los valores más altos de espacio poroso total correspondieron al sector Mide, con 45.19%, los cuales fueron superiores a los encontrados en el sector Zamurito, el cual presento valores de 40.19%. En Zamurito los valores más altos de densidad

of compacting and worse hydrological conditions, which enhance the risk of water erosion. In the Mide in the field of physical deterioration problems were minor, given a lesser proportion of very fine particles, besides the proper functioning of the toroba, which reduced the potential for erosion risk.

Apparent density. In the Mide sector no significant differences ($p < 0.05$) were observed when comparing the toroba with the natural forest in any of the positions evaluated along the transect, the same behavior was observed in the Zamurito (Table 2) sector. The bulk density tends to be higher in the Zamurito sector compared to the Mide sector with a value of bulk density 1.54 Mg m³, compared to 1.51 Mg m³, reported in Zamurito. This indicates a greater tendency to compaction Zamurito soils, due to the predominance of finer particles which promote compaction processes and restrict entry and flow of water in the soil.

According to the results the apparent bit density between sites and no changes between the system under toroba was observed compared to the system under forest, these results suggest that the system toroba possible to maintain the bulk density values similar to what the forest, however the values are above the critical values established by Florentino

(1998) for a similar soil textural class, so a compacting process is evident in both conditions. The results are similar to those reported by González-Pereza y Dezzeo (2011), who found no differences when comparing the density of a Venezuelan tropical dry forest with young and old pastures, these authors expected high values of apparent density high grasslands overgrazing product, which is one of the main causes of deterioration of physical properties in dry regions, especially by grazing goats (Sharrow *et al.*, 2007 y Geissen *et al.*, 2009).

Porosity. In Mide, the values of pore space and micropores tend to be higher under natural forest compared to toroba, even in the off position the pore space was significantly

aparente se reflejaron en una reducción de la porosidad, lo cual indica que en esta zona los procesos de compactación fueron más severos. Cuando se analizó la distribución de los macro y microporos, se encontró que, en efecto, las mejores condiciones para la infiltración, aireación y flujo de agua se presentan en Mide; donde existió un mayor predominio de macro poros en comparación a Zamurito.

higher in natural forest compared to toroba ($p < 0.05$) while in the middle position micro porosity values it was higher in natural forest (Table 3).

In Zamurito no changes ($p < 0.05$) for the variable porosity, macroporosity and microporosity when comparing the toroba with the natural forest (Table 4) were observed,

Cuadro 4. Porosidad en el sector Zamurito so de dispositivo Toroba.

Table 4. Porosity in the industry Zamurito of toroba device.

Tratamientos	Espacio poroso			Macroporosidad			Microporosidad		
	Alta	Media	baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	baja
Toroba	42.52	41.33	39.58	13.97	12.70	11.28	28.54	28.30	25.63
Bosque natural	40.26	39.33	40.58	13.55	12.53	11.21	26.71	26.29	26.33

Sin embargo, en Mide se observaron valores más altos de microporos, lo que puede ocasionar problemas de movimiento de agua, lo que favorece el escurrimiento y por ende la erosión (Ferrerías *et al.*, 2000; Jalota, *et al.*, 2001; Bravo *et al.*, 2004), estos procesos se pueden ver potenciados en la zona debido a la baja de tasa de infiltración y la ocurrencia de lluvias de alta intensidad.

no changes were observed along transect. However the trend shown is that the toroba device tends to improve soil physical conditions with respect to initial conditions, however implementation time is not enough for these changes are significant.

Variables hidrológicas evaluadas. En Mide se observó que la posición alta la velocidad de infiltración fue considerablemente mayor ($p < 0.05$) en la toroba en comparación al bosque natural (Cuadro 5), para las posiciones bajas y medias no se observaron diferencias significativas. Con respecto a la conductividad hidráulica esta fue superior en el bosque natural con relación a la Toroba en las posiciones alta y media, para la posición baja no se observaron diferencias significativas, aunque se notó una drástica disminución en los valores de conductividad hidráulica.

The highest values of total pore space corresponded to Mide sector with 45.19%, which was higher than in the Zamurito found sector, which presented values of 40.19%. In Zamurito higher bulk density values were reflected in a reduction of porosity, which indicates that this area compaction processes were more severe. When the distribution of macro and micropores was analyzed, it was found that, in effect, the best conditions for infiltration, aeration and water flow are presented in Mide; where there was a greater predominance of macro pores compared to Zamurito.

Cuadro 5. Variables hidrológicas evaluadas en el sector Mide en suelos bajo el uso de dispositivo Toroba.

Table 5. Hydrological variables evaluated in the soils in Mide sector under use toroba device.

Tratamientos	Conductividad hidráulica saturada (Ks)			Velocidad de infiltración		
	Alta	Media	baja	Alta	Media	baja
Toroba	1.67 Ab	1.44 Aab	1.17 a	2.10 b	1.64 a	1.39 a
Bosque natural	2.36 Bb	2.35 Bb	1.70	1.97a	1.71	1.68

En Zamurito la velocidad de infiltración fue mayor en la toroba en comparación al bosque natural en la posición media, mientras que en la posición más alta los valores más altos correspondieron al bosque natural (Cuadro 6), para la posición baja no existieron diferencias significativas ($p < 0.05$).

However, Mide higher micropore values were observed, which can cause problems of water movement, which promotes runoff and thus erosion (Ferrerías *et al.*, 2000; Jalota *et al.*, 2001; Bravo *et al.*, 2004), these processes may be enhanced in the area due to low infiltration rate and the occurrence of high intensity rainfall.

Cuadro 6. Variables hidrológicas evaluadas en el sector Zamurito en suelos bajo el uso de dispositivo Toroba.
Table 6. Hydrological variables evaluated in the soils in Zamurito sector under use toroba device.

Tratamientos	Conductividad hidráulica saturada (Ks)			Velocidad de infiltración		
	Alta	Media	baja	Alta	Media	Baja
Toroba	0.93 Ab	0.77 Aab	0.41Aa	1.46 Ab	1.15 Bab	0.94 a
Bosque natural	1.73 Bb	1.03 Ba	0.80 Ba	2.17 Bb	0.89 Aa	0.72 a

En términos generales, la mayor velocidad de infiltración se reportó en el suelo de Mide, el cual presenta mejores condiciones estructurales, mientras que en Zamurito, el deterioro de las condiciones físicas favoreció los procesos de sellado del suelo, disminuyendo drásticamente la velocidad de infiltración. Prieto *et al.* (2009) corroboran estos resultados y señalan que el incremento de la tasa de infiltración se ve contrarrestado por una mayor alteración de la estructura del suelo al incrementar la intensidad de la lluvia. Las partículas finas separadas de los agregados del suelo se incrementaron a medida que la energía cinética de la lluvia fue mayor (proporcional a la intensidad), por lo que se sellan los poros y disminuye la tasa de infiltración.

Los valores más bajos de conductividad hidráulica fueron reportados en los suelos del sector Zamurito, donde el uso de la toroba, no fue eficiente en el control de la erosión, mientras que los valores más altos, se observaron en los suelos de Mide, en ambos suelos los valores de Ks fueron más altos en el punto superior del transecto, mientras que los valores más bajos corresponden al punto inferior del transecto, debido a que en este se acumulan los sedimentos más finos. Estas marcadas diferencias si bien reflejan los cambios en la calidad del suelo producto del sistema de manejo, también estuvieron influenciadas por la alta variabilidad que presenta esta variable en su determinación (Johnston *et al.*, 2009).

Estabilidad de agregados. El contenido de agregados con diámetro menor de 0.25 mm fue encontrado en el sector Zamurito (Cuadro 7), debido a la disgregación de los agregados de mayor tamaño, lo cual podría representar un incremento potencial en el riesgo de erosión ya que, de acuerdo con Ramírez *et al.* (2006), el predominio de agregados con tamaños de 0.05 a 0.25 mm refleja que los suelos son los más susceptibles a la erosión hídrica. Un aspecto importante a destacar es que en ambos caso el dispositivo Toroba mejoró la agregación del suelo, y por lo tanto, redujo los riesgos de erosión, al observarse un aumento de los agregados mayores de 2 mm.

Hydrological variables evaluated. In Mide were observed in the high position the infiltration rate was significantly higher ($p < 0.05$) in the toroba compared to natural forest (Table 5) for the lower and middle positions no significant differences were observed. With respect to the hydraulic conductivity this was higher in natural forest in relation to toroba in the upper and middle positions to the lowest position, no significant differences were observed, although it was noticed a dramatic decrease in hydraulic conductivity values.

In Zamurito the infiltration rate was higher in the toroba compared to natural forest in the middle position, while in the highest position the highest values corresponded to the natural forest (Table 6) to the down position no significant differences ($p < 0.05$).

Generally speaking, the higher speed of infiltration was reported on the floor of Mide, which has better structural conditions, while Zamurito, deterioration of physical conditions favored processes soil sealing, drastically reducing the infiltration rate. Prieto *et al.* (2009) corroborate these findings and point out that the increase in infiltration rate is counteracted by a major alteration of soil structure by increasing the intensity of the rain. The fine particles separated from soil aggregates increased as the kinetic energy of the rain was increased (proportional to the intensity), so that the pores are sealed and decreases the rate of infiltration.

Lower values of hydraulic conductivity were reported in soils Zamurito sector where the use of toroba, was not effective in controlling erosion, while the highest values were observed in soils of Mide, both soil Ks values were higher in the top point of transect, while lower values correspond to the lowest point of the transect, because in this the finer sediments accumulate. These marked differences but reflect changes in soil quality product management system, also they were influenced by the high variability that is variable in its determination (Johnston *et al.*, 2009).

Cuadro 7. Distribución de tamaño de agregados estables al agua y porcentaje del diámetro en los sectores Mide y Zamurito.
Table 7. Size distribution of water stable aggregates and percent diameter in the Mide and Zamurito sectors.

Sectores	>2 mm	1-2 mm	0.5- 1mm	0.1-0.5 mm	<0.1 mm
Sector Mide					
Toroba	20.22 b	5.53	5.83 a	10.46	57.96
Bosque Natural	3.88 a	3.43	10.01 b	10.71	65.47
Sector Zamurito					
Toroba	2.58	5.20 b	8.26 b	28.28 b	55.68 a
Bosque Natural	1.84	2.26 a	5.46 a	15.82 a	74.82 b

Este comportamiento puede obedecer entre otras razones al predominio de partículas finas en Zamurito, especialmente limo y arenas muy finas, que favorecen el deterioro estructural del suelo. Pla *et al.* (1982); Bravo (1999) y Pulido *et al.* (2009) coinciden en señalar que los suelos que presentan predominancia de arenas muy finas, finas y limo tienen una baja estabilidad estructural y una susceptibilidad a la separación cuando son impactados por la gota de lluvia, lo cual se refleja en la rápida formación del sello superficial, acompañada de un brusco descenso de la conductividad hidráulica saturada. Asimismo, estos autores reportan que los suelos con alta erosionabilidad presentan el mayor porcentaje de agregados en los diámetros menores.

Conclusiones

Los suelos ubicados en Mide presentaron mejores condiciones físicas del suelo en comparación al sector Zamurito, lo cual se tradujo en valores más altos de infiltración, conductividad hidráulica y menor densidad aparente. La recuperación de las propiedades físicas del suelo estuvo asociado al uso eficiente de las torobas, mientras que en Zamurito las condiciones edafoclimáticas adversas no han permitido el mejoramiento de calidad física del suelo. La implementación de las Torobas mejoró la agregación del suelo; en Mide, donde predominaron los agregados mayores de 2 mm, mientras que en Zamurito predominaron los agregados menores a 0.25 mm lo que refleja una mayor susceptibilidad del suelo a ser erosionado.

El mejoramiento de la fertilidad del suelo fue observado en Zamurito al observarse valores de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, producto de la acumulación de nutrientes en las posiciones más bajas.

Aggregate stability. The content of aggregates with smaller diameter of 0.25 mm was found in the Zamurito sector (Table 7) due to the disintegration of larger aggregates, which could represent a potential increased risk of erosion since, according to Ramirez *et al.* (2006), the prevalence of aggregates with sizes of 0.05 to 0.25 mm reflects that soils are most susceptible to water erosion. An important aspect to is that in both cases the device toroba improved soil aggregation, and therefore reduced the risk of erosion, when an increase of aggregates larger than 2 mm

This behavior may be due among other reasons to the predominance of fine particles in Zamurito, especially silt and sand very thin, which favor the structural deterioration of the soil. Pla *et al.* (1982); Bravo (1999) and Pulido *et al.* (2009) agree that the soils with predominance of very fine, fine silt and sand have low structural stability and susceptibility to separation when hit by raindrop, which is reflected in the rapid formation of the seal surface, accompanied by a sharp decrease in saturated hydraulic conductivity authors also report that high erosion soils have the highest percentage of aggregates in the smaller diameters.

Conclusions

The soils located on Mide presented better soil physical conditions compared to Zamurito sector, which resulted in higher values of infiltration, hydraulic conductivity and lower density. The recovery of soil physical properties was associated with the efficient use of torobas, while in Zamurito adverse soil and climatic conditions have not allowed the improvement of soil physical quality.

Literatura citada

- Amare, T.; Yihewew, G. S.; Mitku, H. and Yamoh, C. 2011. Effect of soil and water conservation measures on selected soil physical and chemical properties and barley (*Hordeum* spp.) yield. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 11:1483-1495.
- Bescansa, P.; Imaz, M. J.; Virto, I.; Enrique, A. and Hoogmoed, W. B. 2006. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil Tillage Res.* 87(1):19-27.
- Bouyoucos, G. J. 1936. Directions for making mechanical analyses of soils by the hydrometer method. *Soil Sci.* 42(3):225-230.
- Bravo, C. y Florentino, A. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y agua bajo diferentes sistemas de labranza. *Rev. Facultad Agron.* 25:57-74.
- Bravo, C.; Lozano, Z.; Hernandez, R. M.; Piñango, L. y Moreno, B. 2004. Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro.* 16(3):163-172.
- COPLANARH. 1975. Inventario nacional de tierras. Regiones: Nor-occidental, Centro-occidental y Central. Vol. I. Caracas, Venezuela. 493 p.
- Dabney, S. M.; Mcgregor, K. C.; Meyer, L. D.; Grissiger, E. H. and Foster, G. R. 1993. Vegetative barriers for runoff and sediment control. *In: integrated resources management and landscape modification for environmental protection*. Mitchell, J. K. (Ed.). Asae, St. Joseph, MI, USA. 66-70 pp.
- Díaz, M. 2001. Ecología experimental y ecofisiología: bases para el uso sostenible de los recursos naturales de las zonas áridas neotropicales. *Interciencia.* 26(10):472-478.
- Doll, E. and Lucas, R. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. *In: soil testing and plant analysis*. Walsh, L. and Beaton, J. (Eds). Soils Science Society of America Wisconsin (USA). 133-152 p.
- Doran, D. C. 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Soil Quality Institute. 72 p.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe Principal. Estudio FAO-Montes. Núm.163. 197 p.
- Ferreras, L. A.; Costa, J. L.; García, F. O. and Pecorar, C. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil Tillage Res.* 54(1), 31-39.
- Florentino, A. 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: Selección de indicadores físicos. Valores críticos. Instituto de Edafología. Facultad Agronomía de Maracay. Maracay, Venezuela. 9 p.
- Fortanelli, J. y Aguirre, J. 2000. Pequeños regadíos en el altiplano potosino: agricultura de riego tradicional en Ahualulco, Mexquitic y Santa María del Río. Editorial UASLP. México. 206 p.
- Gavlak, R. G.; Horneck, D. A.; Miller, R. O. and Kotuby-Amacher, J. J. 2003. Soil pH and electrical conductivity. *In: soil, plant and water reference methods for the western region*. 2nd (Eds). WCC-103 Publication. Colorado State University. Colorado, USA. 37-47 pp.
- Geissen, V.; Sánchez-Hernández, R.; Kampichler, C.; Ramos-Reyes, R.; Sepulveda-Lozada, A.; Ochoa-Goana, S.; Jong, B. H. J.; Huerta-Lwanga, E. and Hernández-Daumas, S. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils -an example from Southeast Mexico. *Geoderma.* 151(3):87-97.
- Torobas implementation of improved soil aggregation; in Mide, predominating aggregates larger than 2 mm, whereas in Zamurito predominated minor additions to 0.25 mm reflecting a susceptibility more be eroded soil.
- Improving soil fertility was observed in Zamurito to observase values of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium from the accumulation of nutrients in the lower positions.

End of the English version



- González-Pedroza, A. y Dezzeo, N. 2011. Efectos del cambio de bosque a pastizal sobre las características de algunos suelos en los llanos occidentales de Venezuela. *Interciencia.* 36(2):35-141.
- Jalota, S.; Khera, K. R. and Chabal, S. S. 2000. Straw management and tillage effects on soil water storage under field conditions. *Soil Use and Management.* 17(4):282-287.
- Jhonston, S. G.; Hirst, P.; Slavisch, R. T. and Aaso, T. 2009. Saturated hydraulic conductivity of sulphuric horizons in coastal floodplain acid sulphate soils: variability and implications. *Geoderma.* 151(3):387-394.
- Infostat. 2008. InfoStat. Ver. 1.1. Grupo InfoStat. Fac. Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. 336 p.
- Kjeldahl, J. 1883. Neue method zur bestimmung des stickstoffs in organischen Korpern, *Z. Anal chem.* 22(1):366-382.
- Martínez, D.; Kalms, J. M.; Araujo, J.; Rodríguez, N. y Aular, S. 1989. Estudio morfo-edáfico semi-detallado del área piloto MIDE Proyecto PIDZAR. FUDECO. Barquisimeto, Venezuela. 79 p.
- Matteucci, D. y Colma, A. 1997. Agricultura sostenible y ecosistemas áridos y semiáridos de Venezuela. *Interciencia.* 22(3):123-130.
- Miller, R. O. and Kissel, D. E. 2010. Comparison of soil pH methods on soils of North America. *Soil Science of America.* 74(1):310-316.
- Mulugeta, D. and Stahr, K. 2010. Assessment of integrated soil and water conservation measures on key soil properties in south Gondar, north-western Highlands of Ethiopia. *J. Soil Sci. Environ. Manag.* 1(7):164-176.
- Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, F. S. and Dean, L. A. 1954. Estimation available phosphorus in soils by extration with sodium bicarbonate. Washington D.C. USA. 939:1-19.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación en condiciones tropicales. *Rev. Facultad de Agronomía UCV.* Alcance Núm. 32. Maracay, Venezuela. 93 p.
- Pla, I.; Florentino, A. y Lobo, D. 1982. Uso de emulsiones de asfalto para incrementar y regular la productividad de sorgo en un alfisol de los llanos ondulados del norte del estado Guárico Sector Chaguaramas. *Agronomía Tropical.* 34:49-61.
- Pedroza, A.; García, J. y Samaniego, A. 2004. Análisis de crecimiento y desarrollo de la sábila (*Aloe barbadensis miller*) en diferentes prácticas de manejo. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas* 3(1):105-110.

- Pratt, P. F. 1951. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Sci. Am.* 72(2):107-117.
- Prieto, F.; Prieto, J.; Ita, S.; Méndez, M. A. y Román, A. D. 2009. Correlación de potencial zeta (pZ) y parámetros físicoquímicos en extractos de saturación de suelos del Distrito de riego 03 del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Trop. Sub. Agroecosys.* 10(2):161-167.
- Pulido, M. A.; Lobo, D. y Lozano, Z. 2009. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia.* 43(3):221-230.
- Rango, A.; Tartowski, S. L.; Laliberte, A.; Wainwright, J. and Parsons, A. 2006. Islands of hydrologically enhanced biotic productivity in natural and managed arid ecosystems. *J. Arid Environ.* 65(2):235-252.
- Ramírez, P. R.; Taboada, M. A. y Gil, R. 2006. Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un argiudol típico de la pampa ondulada argentina. *Rev. Facultad Nacional Agronomía Medellín.* 59(1):3237-3256.
- Ries, J. B. and Hirt, U. 2008. Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the central Ebro Basin/Spain. *Catena.* 72(2):282-296.
- Sánchez, A.; Romero, C.; Araque, C. y Flores, R. 2005. Producción de material seca de *Leucaena leucocephala* a diferentes edades de corte y épocas del año bajo un Sistema de riego artesanal. *Zootecnia tropical.* 23(1):39-47.
- Sharrow, S. H. 2007. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agrof. System.* 71(3):215-223.
- Van Dijk, P. M.; Kwaad, F. J. P. and Klapwijk, M. 1996. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes.* 10(8):1069-1080.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci. Am.* 37(1):29-38.
- Wei, W.; Chen, L.; Fu, B.; Huang, Z.; Wu, D. and Gui, L. 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *J. Hydrol.* 335(3):247-258.