

# Organic carbon transport under simulated rainfall conditions for different land uses

Transporte de carbono orgánico bajo condiciones de lluvia simulada, para diferentes usos de suelo

Miguel A. Velásquez-Valle<sup>1</sup>; Oscar Ulises Martínez-Burciaga<sup>2</sup>; Gerardo Esquivel-Arriaga<sup>1</sup>; Palmira Bueno-Hurtado<sup>1</sup>; Ignacio Sánchez-Cohen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA). km 6.5 Margen Derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, C. P. 35140, México.

velasquez.agustin@inifap.gob.mx (\*Corresponding author)

<sup>2</sup>CIRNE-INIFAP. Campo Experimental Saltillo. km 342 + 119 Carretera Saltillo-Zacatecas Núm. 9515. Hacienda de Buenavista, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315, México.

## Abstract

The demand for information on carbon transport led to the generation of data on the output of organic carbon in soil particles in suspension. Different land uses were considered: buffelgrass pasture (BGP), abandoned farmland (AFL) and native rangeland (NR). The rainfall simulation technique was used to generate runoff on runoff plots (3 x 1 m) in order to obtain in each land use a 0.5-liter aliquot, from which the solid sediments (soil and organic material) were separated and the carbon percentage determined by the Walkley & Black analysis method. A randomized block experimental design with three replications was used to determine differences in carbon content (%). The results show that the highest average values of carbon in suspended sediment were recorded in native rangeland and under initial moisture conditions (3.79 %), whereas the best land cover conditions in the buffelgrass pastures and abandoned farmland plots (1.20 and 1.18 % respectively) had lower carbon losses than those that occurred in the native rangeland (3.11 %).

**Keywords:** land use, carbon losses, sediment, rainfall simulation.

## Resumen

La demanda de información sobre el transporte de carbono motivó la generación de datos sobre la salida de carbono orgánico en partículas de suelo en suspensión. Se consideraron diferentes usos de suelo: praderas de zacate buffel (PZB), parcelas de cultivo abandonadas (PCA) y el pastizal nativo (PN). Se utilizó la técnica de simulación de lluvia para generar escurrimiento sobre parcelas de escurrimiento (3 x 1 m) para obtener en cada uso de suelo una alícuota de 0.5 L, de la cual se separaron los sedimentos sólidos (suelo y material orgánico) y mediante un análisis por el método de Walkley y Black se determinó el porcentaje de carbono. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones para determinar las diferencias en el contenido de carbono (%). Los resultados obtenidos muestran que en el pastizal nativo y en condiciones de humedad inicial se registraron los valores promedio más altos de carbono en los sedimentos en suspensión (3.79 %); mientras que las condiciones de mejor cobertura del suelo en las praderas de zacate buffel y en las parcelas de cultivo abandonadas (1.20 y 1.18 % respectivamente) fueron menores que las pérdidas de carbono ocurridas en el pastizal nativo (3.11 %).

**Palabras clave:** usos de suelo, pérdidas de carbono, sedimentos, simulación de lluvia.

## Introduction

Organic carbon is one of the main primary elements essential to the functioning of terrestrial ecosystems, as well as the main constituent in food and biodiversity production (Xue, Luo, Zhou, Sherry, & Jia, 2011). Globally, the amount of carbon stored in the soil equals approximately 1,467 to 1,548 Pg of C (1 Pg =  $1 \times 10^{15}$  g) and is twice the amount stored in the atmosphere (760 Pg) and triple the amount in aboveground plant biomass (550 Pg). In this same context, 1,576 Pg of carbon is stored in soils; of this, approximately 32 % (about 506 Pg) is in tropical soils. In tropical regions, it has been estimated that 40 % of the carbon is in forest soils (Eswaran, Van Den Berg, & Reich, 1993).

Grasslands occupy about a third of the world's land surface and play an important role in the carbon cycle, since the soil surface holds about 10 to 30 % of the world's carbon (Anderson, 1991; Eswaran et al., 1993). However, a reduction in the carbon content in grassland soils may be a response to inadequate management practices, such as land use change, and thus increases atmospheric CO<sub>2</sub> and consequently affects climate change (Gupta & Sharma, 2013).

### Water erosion process

Factors such as rainfall intensity, soil compaction, the slope of the land and low cover contribute to, among other things, both raindrops through kinetic energy and the energy of the flow on the surface increasing soil losses (Jin et al., 2009).

Soil losses reduce the availability of nutrients contained in the surface layer, which are essential for crop growth and development. In fact, it has been proven that soil erosion by water is the main mechanism responsible for organic carbon losses (Eswaran et al. 1993; Lal 2000; Lal 2004; Xue et al. 2011). In forest areas it has been reported that deforestation causes the loss of between 20-50 % of the carbon stored in the soil, due largely to the erosion process. By contrast, conservation practices, apart from other benefits, also help maintain carbon amounts in the soil (Eswaran, et al., 1993).

### Impact of land management and use

As regards land-use change (LUC), according to Lal (2004) in the last 200 years it has been reported that this and agricultural activities have led to soil carbon losses because oxidation by microbial action to CO<sub>2</sub> is accelerated, and it is estimated that the losses are on the order of  $78 \pm 12$  pg of atmospheric carbon.

Today, low crop productivity and profitability have resulted in a land-use change from farmland to rangelands, because they have a very important role

## Introducción

El carbono orgánico es uno de los principales elementos primarios esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas en el suelo; así como el principal constituyente en la producción de alimentos y de la biodiversidad (Xue, Luo, Zhou, Sherry, & Jia, 2011). A nivel mundial, la cantidad de carbono almacenado en el suelo equivale aproximadamente de 1,467 a 1,548 Pg de C (1 Pg =  $1 \times 10^{15}$  g) y es el doble de la cantidad almacenada en la atmósfera (760 Pg) y el triple de la cantidad de carbono de la biomasa vegetal aérea (550 Pg). En este mismo un contexto, 1,576 Pg de carbono es almacenado en los suelos; de esto aproximadamente un 32 % (aproximadamente 506 Pg) se encuentra en los suelos del trópico. En las regiones tropicales, se ha estimado que un 40 % del carbono se encuentra en suelos con uso forestal (Eswaran, Van Den Berg, & Reich, 1993).

Los pastizales ocupan aproximadamente un tercio de la superficie terrestre del mundo y tienen un rol importante en el ciclo del carbón, ya que en la superficie del suelo, se almacena de 10 a 30 % del carbono a una escala mundial (Anderson, 1991; Eswaran et al., 1993). Sin embargo, un cambio en el contenido de carbono en los suelos de pastizales puede ser una respuesta a prácticas inadecuadas de manejo, como el cambio de uso del suelo y tendría un efecto en incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y por consecuencia también tendría un efecto en el cambio climático (Gupta & Sharma, 2013).

### Proceso de erosión hídrica en el suelo

Los factores como intensidad de la precipitación, la compactación del suelo, la pendiente del terreno y la escasa cobertura, contribuyen entre otros a que tanto las gotas de lluvia a través de la energía cinética y la energía del flujo sobre la superficie, incrementen las pérdidas de suelo (Jin et al., 2009).

Las pérdidas de suelo disminuyen la disponibilidad de nutrientes contenidos en la capa superficial, los cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. De hecho, se ha comprobado que la erosión hídrica del suelo es el principal mecanismo responsable de las pérdidas de carbono orgánico (Eswaran et al. 1993; Lal 2000; Lal 2004; Xue et al. 2011). En áreas forestales se ha reportado que la deforestación es la causa de la pérdida de entre 20 a 50 % de carbono almacenado en el suelo, lo anterior debido en gran parte al proceso de erosión. Por el contrario, con las prácticas de conservación aparte de otros beneficios, también contribuye a mantener las cantidades de carbono en el suelo (Eswaran, et al., 1993).

### Impacto del manejo y uso del suelo

En lo que se refiere al cambio de uso del suelo (CUS), según Lal (2004) en los últimos 200 años se ha reportado

in carbon sequestration and soil losses (Alkharabsheh, Alexandridis, Bilas, Misopolinos, & Silleos, 2013; Brown & Thorpe, 2008). When land use changes from forest ecosystems or rangelands to agricultural systems, there are generally biomass and CO<sub>2</sub> losses; according to Guo and Gifford (2002), these losses can average on the order of 42 and 59 %, respectively. By contrast, when the use changes from agricultural systems to forests and rangeland, there is a gain in the rate of CO<sub>2</sub> accumulation due to increased organic matter, with the rate of accumulation being on the order of 0.338 and 0.332 Mg·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>, respectively (Post & Kwon, 2000).

On the other hand, González, Mireles, Carrillo, Báez, and González (2014) found that production systems that include the use of organic waste, as in agricultural systems with conservation tillage, promote organic carbon content in the soil. By contrast, with land-use change from secondary vegetation to rangeland in a period of 40 years, negative rates or loss of organic carbon content in the soil are found (Mg·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>).

#### Variables related to carbon content in rangeland soil

Various factors are related to soil carbon content (SCC). The spatial variability and dynamics in time of soil carbon content is associated with different factors, so their quantification, modeling and forecasting is very complex (Martínez-Montoya, Olmos-Oropeza, Palacio-Núñez & Ruíz-Vera, 2013).

The organic carbon content in rangeland soil is influenced by the type and condition of the vegetation, as well as the soil depth. Jurado-Guerra, Saucedo-Terán, Morales-Nieto and Martínez-Salvador (2013) reported that in a halophyte grassland, SCC presented values (1.43 %) under excellent cover conditions by buffelgrass and at a depth of 0 to 0.15 m, while for medium-open rangeland SCC presented values (2.83 %) under excellent cover conditions by and under buffelgrass. The lowest SCC values were found under poor conditions, at a depth greater than 0.15 m and at sites with low vegetation cover.

In arid areas of the state of Durango, increased pressure on the use of the soil resource for food production has caused its deterioration. This situation leads to a cascading effect on the transport of soil particles, nutrients and pollutants towards the lower parts of the relief, streams, rivers and surface storage areas, causing eutrophication.

The aim of this study is to present organic carbon losses due to transport in suspended solids from runoff plots of three different land uses under simulated rainfall conditions, as well as determine their correlation with some soil and management variables.

que éste y las actividades agrícolas han conducido a pérdidas del carbono edáfico porque se acelera su oxidación por la acción microbiana a CO<sub>2</sub> y se estima que las pérdidas son del orden de 78 ± 12 Pg del carbono atmosférico.

La baja productividad y la poca rentabilidad de los cultivos ha propiciado que en la actualidad se está dando un cambio de uso de suelo agrícola a pastizales, ya que éstos tienen un rol muy importante en la captura de carbono y las pérdidas de suelo (Alkharabsheh, Alexandridis, Bilas, Misopolinos, & Silleos, 2013; Brown & Thorpe, 2008). Cuando el uso del suelo se cambia de sistemas forestales o pastizales a sistemas agrícolas, generalmente hay pérdidas de biomasa y de CO<sub>2</sub>; según Guo & Gifford (2002), éstas pueden ser en promedio del orden de 42 y 59 %, respectivamente. En contraste, cuando el uso es de sistemas agrícolas y se convierte a bosques y pastizales, hay una ganancia en donde la tasa de acumulación de CO<sub>2</sub> por incremento de la materia orgánica y la tasa de acumulación es del orden de 0.338 y 0.332 Mg·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, respectivamente (Post & Kwon, 2000).

Por otro lado, González, Mireles, Carrillo, Báez, y González (2014) encontraron que los sistemas de producción que incluyen el uso de residuos orgánicos, como en los sistemas agrícolas con labranza de conservación, fomentan el contenido de carbono orgánico en el suelo. Por el contrario, con el cambio de uso del suelo de una vegetación secundaria a pastizal en un periodo de 40 años se encontraron tasas negativas o de pérdida del contenido de carbono orgánico en el suelo (Mg·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>).

#### Variables relacionadas con el contenido de carbono en el suelo de pastizales

Son varios los factores relacionados con el contenido de carbono en el suelo (CCS). La variabilidad espacial y la dinámica en el tiempo del contenido de carbono en el suelo está asociada a factores de diversa índole por lo que su cuantificación, modelación y predicción es muy compleja (Martínez-Montoya, Olmos-Oropeza, Palacio-Núñez & Ruíz-Vera, 2013).

El contenido de carbono orgánico en el suelo de los pastizales está influenciado por el tipo y condición de la vegetación; así como la profundidad del suelo. Jurado-Guerra, Saucedo-Terán, Morales-Nieto y Martínez-Salvador (2013) reportaron que en un pastizal halófito, el CCS presentó valores (1.43 %) bajo condiciones excelentes de cobertura por zacates y a una profundidad de 0 a 0.15 m; mientras que para un pastizal mediano abierto el contenido de carbono orgánico del suelo presentó valores (2.83 %) en condiciones excelentes de cobertura por y debajo de los zacates. Los valores más

## Materials and methods

### Description of study area

This study was conducted in San Luis del Cordero municipality in the state of Durango, Mexico (Figure 1). The municipality covers a 543.9 km<sup>2</sup> area, located between 25° 11' and 25° 30' north latitude and between 104° 40' and 104° 29' west longitude, at an average height above sea level of 1,490 meters. The municipality is located in the arid area of the state, in the southern part of Bolsón de Mapimí, which is considered a semi-desert. The region has a very dry B<sub>Skw</sub> and B<sub>Whw</sub> climate (García, 1988; García-Gutiérrez, Cháirez-Hernández, Rivera-García, Gurrola-Reyes, & González-Maldonado, 2006). The highest and lowest recorded temperatures are 45 °C and -10 °C, respectively. The average annual rainfall is 325 mm, with the rainy season being from June to September. The average number of days with rainfall per year is 40 (Medina, Díaz, López, Ruíz, & Marín, 2005). The alluvial soil has an average depth of 25-50 cm, is light to dark brown and has a soft sandy texture with gravel, a block-angular structure, a moderately hard consistency, intermediate drainage and pH of 7.5 to 8.0. This soil type is called litosol. Most land is used as pasture for livestock, followed in importance by agricultural use. The typical vegetation in the rangelands of the site is mainly composed of: mesquite (*Prosopis* sp.), huizache (*Acacia* sp.), lechuguilla, ocotillo, sotol, prickly pear, oregano, governor (*Larrea tridentata*), candelilla, maguey and a great variety of cacti. In the state of Durango, the valleys are the areas with the highest biomass production of native rangeland grasses, such as sideoats grama (*Bouteloua curtipendula*) and blue grama (*Bouteloua*

bajos de carbono orgánico del suelo se encontraron en condiciones pobres, en una profundidad mayor a 0.15 m y en sitios con escasa cobertura vegetal.

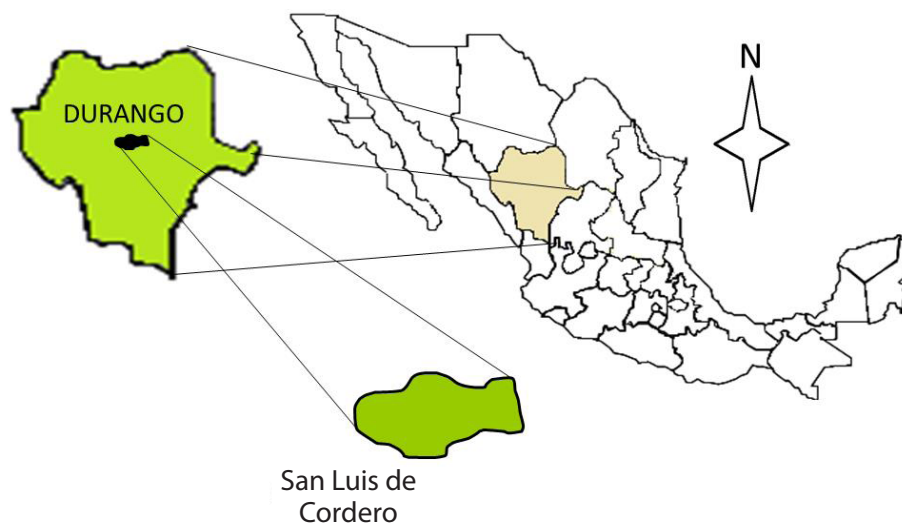
En las zonas áridas del estado de Durango, la presión por el uso del recurso suelo para la producción de alimentos ha ocasionado su deterioro. Esta situación conlleva a un efecto cascada en el transporte de partículas de suelo, nutrientes y contaminantes hacia las partes bajas del relieve, cauces, ríos y almacenamientos superficiales, causando su eutrofización.

El objetivo de este estudio es presentar las pérdidas por transporte de carbono orgánico en sólidos en suspensión de parcelas de escurrimiento de tres diferentes usos de suelo en condiciones de lluvia simulada, así como determinar su correlación con algunas variables edafológicas y de manejo.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el municipio de San Luis del Cordero, en el estado de Durango, México (Figura 1). El municipio cuenta con una superficie de 543.9 km<sup>2</sup> está comprendido entre los paralelos 25° 11' y 25° 30' de latitud norte y entre los meridianos 104° 40' y 104° 29' de longitud oeste, a 1,490 msnm. El municipio se encuentra enclavado en la zona árida del estado, en la parte sur del Bolsón de Mapimí, el cual es considerado como un semidesierto. La región cuenta con un clima muy seco B<sub>Skw</sub> y B<sub>Whw</sub> (García, 1988; García-Gutiérrez, Cháirez-Hernández, Rivera-García, Gurrola-Reyes, & González-Maldonado, 2006).



**Figure 1. Geographic location of the study area in San Luis de Cordero municipality, Dgo., Mexico.**

**Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en el municipio de San Luis de Cordero, Dgo.3, México.**

*gracilis*), covering 28.8 % of its area (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero [COTECOCA],1979).

### Rainfall simulation test

To determine the hydrologic impact, infiltration tests were performed with a modified Miller (1987) rainfall simulator (Figure 2). The simulator works with a 5500-watt portable power plant, which generates 110 volts alternating current (VAC). The simulator includes a 110-VAC electronic module that synchronously regulates the opening and closing of the three solenoid valves that make up the simulator. The opening and closing time of each valve determines the magnitude of water applied and for this study the time was equal to four seconds. The water entering the simulator's hydraulic system is supplied by a 100-VAC, 0.5-HP hydraulic pump. The rain leaves the simulator's hydraulic system by a circular spray nozzle. The water pressure for each valve is controlled by pressure gauges in each nozzle. The simulator has a rainfall intensity range of 60-180 mm·h<sup>-1</sup>. The runoff plots were constructed by delimiting a one-by-three meter area with a smooth galvanized sheet and in the lower part of each plot a metal structure for concentrating the surface runoff coming out of each of them was placed. Rainfall simulations were performed under initial dry (current) and wet (24 hours after the dry tests) conditions for each of the runoff plots. The hydrological database generated runoff depth (mm) and volume (L), which were measured at five-minute intervals during the 50-minute test.

Las temperaturas máximas registradas son de 45 °C y las mínimas de -10 °C. La precipitación media anual es de 325 mm, siendo el periodo de lluvias de junio a septiembre. El número promedio de días con lluvia al año es de 40 (Medina, Díaz, López, Ruíz, & Marín, 2005). El origen del suelo es aluvial con una profundidad media de 25 a 50 cm, de color castaño claro a oscuro, textura blanda arenosa con grava, una estructura tipo block-angular, con una consistencia moderadamente dura, drenaje intermedio y pH de 7.5 a 8.0. El tipo al que corresponde es el llamado litosol. La mayor parte de suelo se usa para la ganadería como agostadero, siguiendo en importancia el uso agrícola. La vegetación típica en los pastizales del sitio está compuesta principalmente por: Mezquite (*Prosopis* sp.), huizache (*Acacia* sp.), lechuguilla, ocotillo, sotol, nopal, orégano, gobernadora (*Larrea tridentata*), candelilla, maguey y gran variedad de cactáceas. En el estado de Durango, los valles representan la región con mayor producción de biomasa de pastizales nativos como el navajita (*Bouteloua curtipendula*) y banderita (*Bouteloua gracilis*) con un 28.8 % de su superficie (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero [COTECOCA],1979).

### Simulación de lluvia

Para determinar el impacto hidrológico, se realizaron pruebas de infiltración con un simulador de lluvia tipo Miller (1987) modificado (Figura 2). El Simulador trabaja con una planta de energía portátil de 5500 Watts, la cual genera una energía de 110 Voltios de corriente alterna



**Figure 2. Modified Miller rainfall simulator (1987) used in plot experiments.**

**Figura 2. Simulador de lluvia modificado tipo Miller (1987) utilizado en parcelas experimentales.**

The experimental site was known as “La Providencia” in San Luis del Cordero municipality, Durango. Infiltration tests were run on three different land uses: a) a pasture (25° 25' NL and 104° 14' WL) established after planting with buffelgrass (*Pennisetum ciliaris* L.) 11 years earlier. Buffelgrass pasture (BGP), in addition to receiving rain once or several times a year, also receives water inputs in the form of irrigation originating from runoff from Naycha stream. The number of irrigations applied to the plot depends on the number of storms that cause floods in the aforementioned stream. At the time of the rainfall simulation tests, the buffelgrass pasture was in a state of resprouting, after a cut for fodder production had been made; b) in a rain fed farm plot (25° 25' NL and 104° 14' WL) abandoned due to its low productivity and c) a native rangeland area in the region (25° 25' NL and 104° 15' WL), in which the dominant species in the arboreal layer are the mesquite (*Prosopis* spp) and the huizache (*Acacia* spp), whereas the basal layer includes grass species of the genera *Bouteloua*, *Lycurus* and *Aristida*. In the case of native rangeland (NR), the hydric regime is completely rain-fed, so when the infiltration tests were made the plants in the lower layer were dry due to their phenological stage and the lack of moisture in the soil (less than 10 %, based on dry weight). Given the deteriorating situation of the soil surface, only a condition called “current” was considered.

The general surface condition of the sites considered in this study is shown in Figure 3, while the land surface cover and use when carrying out the Infiltration test

(VAC). El simulador incluye un módulo electrónico (110 VAC) que regula de manera sincronizada el cierre y apertura de las tres válvulas selenoides de que consta el simulador. El tiempo de cierre y apertura de cada válvula determina la magnitud de agua aplicada y para este estudio el tiempo fue igual a cuatro segundos. El agua que entra al sistema hidráulico del simulador es abastecida por una bomba hidráulica de 0.5 HP y de 110 VAC. La lluvia sale del sistema hidráulico del simulador por una boquilla de aspersión circular. La presión del agua para cada válvula es controlada por manómetros en cada boquilla. El simulador tiene un rango de intensidad de precipitación de 60 hasta 180 mm·h<sup>-1</sup>. Las parcelas de escurrimiento se construyeron aislando una superficie de uno por tres metros con lámina galvanizada lisa y en la parte baja de cada parcela se colocó una estructura metálica para concentrar los escurrimientos superficiales que salen de cada una de ellas. Las simulaciones de lluvia se realizaron en condiciones iniciales secas (actual) y húmedas (24 horas después de las pruebas en seco) para cada una de las parcelas de escurrimiento. La base de datos hidrológica generada: lámina (mm) y volumen escurrido (L) fueron medidos a intervalos de cada cinco minutos durante la prueba, la cual tuvo una duración de 50 minutos.

El sitio experimental fue el terreno conocido como “La Providencia” en el municipio de San Luis del Cordero, Durango. Las pruebas de infiltración se corrieron sobre tres diferentes usos de suelo: a) una pradera de zacate introducido (25° 25' LN y 104° 14' LO) a 11 años de haberse sembrado con buffel (*Pennisetum ciliaris* L.). La

**Table 1. Condition of the surface layer based on the average soil surface cover (%) within the runoff plots in the buffelgrass pastures and abandoned farmland and native rangeland plots.**

**Cuadro 1. Condición de la capa superficial basada en el promedio de la cobertura superficial del suelo (%) dentro de las parcelas de escurrimiento en las praderas de zacate buffel, parcela abandonada y de pastizal nativo.**

Land use/Usos del suelo	Surface condition/ Condición superficial	Land cover (%) / Cobertura del suelo (%)		
		Grass/Pasto	Organic mulch/ Mantillo orgánico	Bare soil/ Suelo sin cobertura
Buffel grass pasture/ Pradera de zacate Buffel	Good/Buena	50.0	39.4	10.6
	Poor/Pobre	18.9	43.9	37.2
Abandoned farmland/ Parcela de cultivo abandonada	Good/Buena	0.0	73.9	26.1
	Poor/Pobre	1.1	31.1	67.8
Native rangeland/ Pastizal nativo	Current/Actual	0.0	12.2	87.8

n = 15

is presented in Table 1. It can be seen that in the buffelgrass pasture the land cover by this grass and organic mulch even in the poor cover condition was higher than 60 %, whereas in the surface runoff plots in abandoned farmland and native rangeland areas the land cover was not higher than 35 %, except for the abandoned farmland plots (good condition) where the organic mulch cover was greater than 70 %.

### Collection of sediment samples

During infiltration testing, at each 5-minute interval the runoff volume in a previously gauged cuvette was quantified. Subsequently, the gauged volume was stirred and poured into a plastic container; this operation was performed to complete the test time (50 minutes). At the end of each rainfall simulation and accumulated volume test, a 500-mL water sample was obtained to determine the weight of the suspended sediments.

### Determination of organic carbon

The organic carbon content was determined by means of the Walkley and Black method (1934), using a particle size < 0.5 mm. Then a 0.5-g sample was weighed and placed in a 500-mL Erlenmeyer flask. Subsequently, 10 mL of 1 N potassium dichromate solution and 20 mL of concentrated sulfuric acid were added by stirring for about 10 seconds. It was allowed to stand for half an hour, after which 200 mL of deionized water, 10 mL of concentrated phosphoric acid and 1 mL of diphenylamine indicator were added. It was then titrated with 1N ferrous sulfate until obtaining a change in tone from violet-blue to emerald green. To carry out the organic carbon calculation, 0.39 was taken as a factor because it is assumed that the method only oxidizes 77 % of the carbon in the sample (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### Statistical analysis

For the statistical analysis, a randomized block experimental design with three replications was used to find significant differences in carbon content (%) in suspended sediments for the different land uses and soil surface conditions. The effects of the dependent variables were analyzed using SAS software (SAS, 2001) and the Tukey test was performed at a confidence level of 95 %.

### Results and discussion

The statistics of the soil variables that physically characterize the runoff plots are presented in Table 2. This table shows how the land cover, rainfall intensity and total runoff volume present a large dispersion with respect to the mean. It also shows that there are some numerical differences that can be related to the

pradera de zacate buffel (PZB), además de recibir la lluvia una o varias veces al año, también se realizan aportaciones de agua a la pradera en forma de riego cuyo origen es la escorrentía proveniente del arroyo Naycha. El número de riegos aplicados a la parcela dependen del número de tormentas que originan avenidas en el arroyo mencionado. Al momento de las pruebas de simulación de lluvia, la pradera de zacate buffel se encontraba en un estado de rebrotación, después de haber realizado un corte para producción de forraje; b) en un terreno de una parcela agrícola de temporal (25° 25' LN y 104° 14' LO) abandonado por su baja productividad y c) un área de pastizal nativo de la región (25° 25' LN y 104° 15' LO), en el cual las especies dominantes en el estrato arbóreo son el mezquite (*Prosopis* spp) y el huizache (*Acacia* spp) y en el estrato basal se encontraron las especies de pasto de los géneros *Bouteloua*, *Lycurus* y *Aristida*. En el caso del pastizal nativo (PN), el régimen hídrico es totalmente de temporal, por ello, al momento de hacer las pruebas de infiltración las plantas en el estrato inferior se encontraban secas por su etapa fenológica y por la falta de humedad en el suelo (menor al 10 %, con base en el peso seco). Dada la situación de deterioro de la superficie del suelo, sólo se consideró una condición denominada "actual".

De manera general el aspecto de la condición superficial de los sitios considerados en este estudio se observan en la Figura 3 y la cobertura y uso superficial del suelo al momento de la realización de las pruebas de infiltración se presenta en el Cuadro 1. Se puede observar que en la pradera de zacate buffel la cobertura del suelo por este pasto y el mantillo orgánico aún en la condición pobre de cobertura fue mayor al 60 %; mientras que en las parcelas de escurrimiento superficial en terrenos de cultivo abandonados y de pastizal nativo la cobertura del suelo no fue mayor al 35 %, con excepción de las parcelas en los terrenos de cultivo abandonados (condición buena) en los que la cobertura por el mantillo orgánico fue mayor al 70 %.

### Obtención de muestras de sedimentos

Durante la prueba de infiltración, a cada intervalo de 5 minutos se cuantificó el volumen escurrido en una cubeta previamente aforada. Posteriormente, el volumen aforado se agitó y se vertió en un contenedor de plástico, esta operación se realizó hasta completar el tiempo de la prueba (50 minutos). Al término de cada prueba de simulación de lluvia y del volumen acumulado se obtuvo una muestra de agua de 500 mL para determinar el peso de los sedimentos en suspensión.

### Determinación de carbono orgánico

Para la determinación de carbono orgánico se utilizó el método de Walkley y Black (1934), utilizándose un tamaño de partícula < 0.5 mm. Se pesaron 0.5 g de

organic carbon content in the suspended sediments, for example, the differences in average soil moisture content at the time of the rainfall simulation in the initial condition (dry), 9.3 %, and the 27.3 % recorded in the wet condition. Another important aspect is the average total runoff volume, which ranged from 179 to 223 liters for the initial moisture and wet condition, respectively. These variables that characterize the soil and its hydrological response are associated with the

muestra que fue colocada en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Posteriormente, se agregaron 10 mL de solución de dicromato de potasio 1 N y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, realizando movimientos circulares durante aproximadamente 10 segundos. Se dejó reposar durante media hora. Se añadieron 200 mL de agua desionizada, 10 mL de ácido fosfórico concentrado y 1 mL de indicador difenilamina. Realizado lo anterior, se tituló con sulfato ferroso 1 N hasta obtener un

**Table 2. Statistics for variables related to organic carbon output in sediment from runoff plots for different land uses. Cuadro 2. Estadísticos para las variables relacionadas con la salida de carbono orgánico de las parcelas de escurrimiento en sedimentos para diferentes usos de suelo.**

Variable	Units/ Unidades	Average minimum/ Promedio mínimo	Range / Rango		Standard deviation/ Desviación estándar
			Minimum/ Mínimo	Maximum/ Máximo	
Surface roughness/Rugosidad superficial	S.E./D.E.	1.164	0.418	2.821	0.698
<b>Land cover/Cobertura del suelo</b>					
Mulch/Mantillo	%	47.410	3.333	88.333	25.991
Bare soil/Suelo desnudo	%	40.740	3.333	96.670	27.101
<b>Biomass produced/Biomasa producida</b>					
Mulch/Mantillo	g·m <sup>-2</sup>	78.9	0.006	2.388	0.680
Grass/Zacate	g·m <sup>-2</sup>	0.690	0.001	3.012	0.975
Plot slope/Pendiente de la parcela	%	1.230	0.190	2.630	0.696
<b>Dry run/Corrida en seco</b>					
Rainfall intensity/ Intensidad de la lluvia	mm·h <sup>-1</sup>	113.034	70.472	154.967	23.747
Soil moisture/Humedad del suelo	(%)	9.335	3.693	18.302	4.841
Runoff volume/ Volumen total escurrido	L	179.063	67.730	256.567	53.626
Runoff pH/pH del escurrimiento		7.362	7.120	7.790	0.196
Sediment production/ Producción de sedimentos	g·L <sup>-1</sup>	6.066	0.800	22.600	7.472
<b>Wet run/Corrida en húmedo</b>					
Rainfall intensity/ Intensidad de la lluvia	mm·h <sup>-1</sup>	129.024	108.218	171.360	18.434
Soil moisture/Humedad del suelo	(%)	27.382	20.370	38.721	5.599
Total runoff volume/ Volumen total escurrido	L	223.296	173.339	281.748	29.245
Runoff pH/pH del escurrimiento		7.327	7.120	7.750	0.217
Sediment production/ Producción de sedimentos	g·L <sup>-1</sup>	4.346	0.800	19.000	5.028

capture or sequestration of a higher carbon percentage in the suspended solids produced.

The interaction between the surface state, soil moisture content and rainfall intensity and duration increases the transport of sediments and organic carbon in the runoff plots.

### Carbon transport and land use

The information on the carbon content (%) in the sediment samples from each plot per treatment and replication is shown in Table 3.

The average organic carbon production (%) in the runoff plots was the lowest in the buffelgrass plots (1.18 %), followed by the abandoned farmland plots (1.83 %) and highest in the native rangeland plots where there was on average a higher transport percentage of organic carbon (3.79%) than came out of the runoff plot together or attached to suspended sediments in the runoff (Figure 3).

It was found that both the abandoned farmland and rangeland plots had a higher runoff volume (61.2 and 52.1 % of the applied depth) than that of the buffelgrass pasture plots (47.7 %) (Velásquez et al., 2013). The reduction in the organic carbon output in the buffelgrass pastures is attributed to the excellent land cover provided by the grass and organic mulch, which was greater than 60 % (Table 1), which reduced the direct impact of the simulated raindrops on the soil surface, preventing small organic particles from adhering to the soil particles that were transported.

cambio de vire de azul-violeta a verde esmeralda. Para la realización del cálculo de carbono orgánico se tomó como factor 0.39 debido a que se supone que el método sólo oxida el 77 % del carbono en la muestra (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones para encontrar diferencias significativas del contenido de carbono (%) en sedimentos en suspensión para los diferentes usos de suelo y condiciones de la superficie del suelo. Los efectos de las variables dependientes fueron analizados mediante el uso del SAS Software (SAS, 2001). La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey a un nivel de confianza de 95 %.

### Resultados y discusión

Las estadísticas de las variables de suelo que caracterizan físicamente las parcelas de escurrimiento se presentan en el Cuadro 2. En este cuadro se puede observar cómo la cobertura del suelo, la intensidad y el volumen total escurrido presenta una gran dispersión con respecto a la media. Se observa también que existen algunas diferencias numéricas que se pueden relacionar con el contenido de carbono orgánico en los sedimentos en suspensión, por ejemplo, las diferencias del contenido de humedad promedio del suelo al momento de la simulación de lluvia de 9.3 % en la condición inicial (seca) a 27.3 % en la condición húmeda. Otro aspecto importante es el promedio del volumen total escurrido, el cual varió de 179 a 223 litros para la condición de

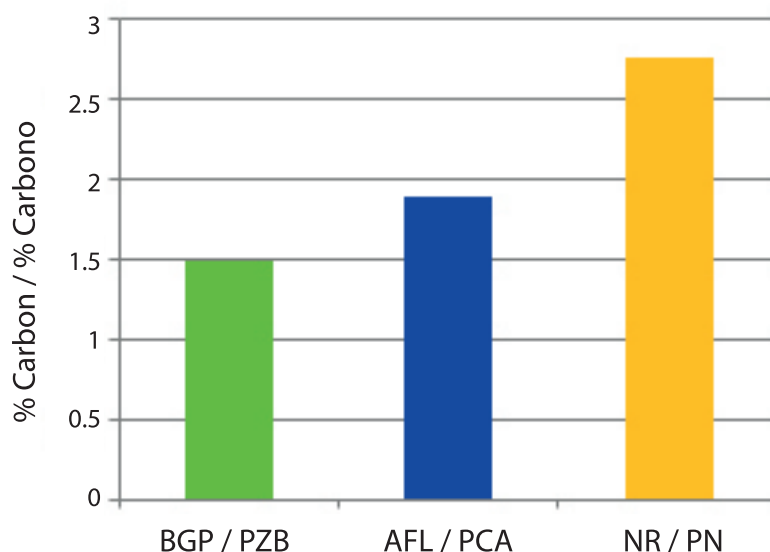
**Table 3. Average organic carbon content (%) in suspended soil sediments for different uses and moisture condition at the time of simulating rainfall.**

**Cuadro 3. Contenido promedio de carbono orgánico (%) en sedimentos de suelo en suspensión para diferentes usos y condición de humedad al momento de la simulación de lluvia.**

Land use / Uso del suelo	Treatment / Tratamiento Soil surface condition / Condición de la superficie del suelo	Soil moisture content / Condición de humedad del suelo	
		D/S	W/H
Buffelgrass pasture / Pradera de zacate buffel	Good / Buena	1.59 ab	1.63 a
	Poor / Pobre	0.78 c	1.93 a
Abandoned farmland / Parcela de cultivo abandonada	Good / Buena	0.87 c	2.39 a
	Poor / Pobre	2.79 ab	1.49 a
Native rangeland / Pastizal nativo	Current / Actual	3.79 a	2.42 a

S = dry condition / S = condición seca

H = wet condition / H = condición húmeda



**Figure 3. Average carbon losses (%) in buffelgrass pastures (BGP), abandoned farmland (AFL) and native rangeland (NR).  
Figura 3. Pérdidas de carbono (%) promedio en praderas de zacate buffel (PZB), en terrenos de cultivo abandonados (PCA) y en pastizal nativo (PN).**

These results agree with those reported by in the sense that the total amount of sediment in the runoff is a factor that determined to a greater extent the loss of nutrients, rather than the organic carbon enrichment rate in the soil.

These preliminary results are also consistent with those reported by González et al. (2014), who note that sites with high organic mulch cover (conservation tillage) store carbon in the soil, while rangeland areas, by contrast, generally have higher rates of carbon loss.

#### Impact of soil surface condition (plant cover)

The effect of soil surface condition, referred to in terms of its plant cover (Table 1), on the average percentage of organic carbon output by land use and surface condition of the runoff plots is shown in Figure 4. It can be seen that land cover has an influence on retaining organic carbon (less than 1.5 % carbon) in the buffelgrass pastures and even in the abandoned farmland sites. Under good cover conditions in these sites, statistically significant ( $P \geq 0.05$ ) differences were found with the poor condition in the same land uses (greater than 1.5 and less than 3 % of carbon produced) and more with the current rangeland condition with a land cover of less than 20 %, under which the production of carbon in suspended sediments was greater than 3 %. By decreasing the protection of the soil surface layer by the plant cover of the poor-condition scenarios, the soil is exposed to the impact of raindrops, causing the detachment and transport of soil particles to be increasingly greater than at good-condition sites.

humedad inicial y húmeda, respectivamente. Estas variables que caracterizan al suelo y su respuesta hidrológica están asociadas a la captura o secuestro de un mayor porcentaje de carbono en los sólidos en suspensión producidos.

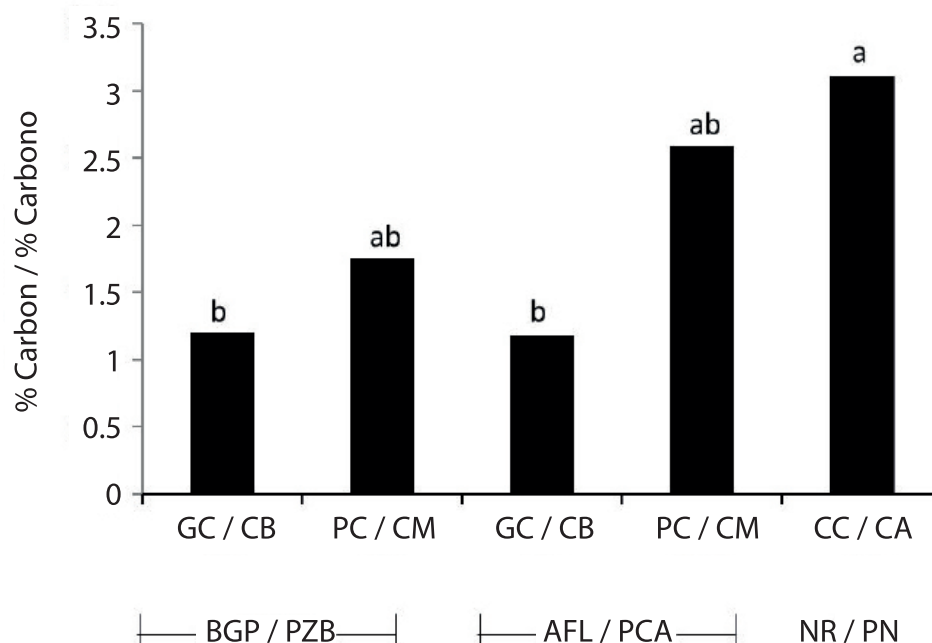
La interacción entre el estado de superficie, el contenido de humedad en el suelo y la intensidad y duración de la lluvia incrementan el transporte de sedimentos y de carbón orgánico en las parcelas de escurrimiento.

#### Transporte de carbón y uso del suelo

La información del contenido de carbono (%) en las muestras de sedimento de cada parcela por tratamiento y repetición se muestra en el Cuadro 3.

La producción promedio de carbono orgánico (%) en de las parcelas de escurrimiento fue menor en las parcelas de zacate buffel (1.18 %), seguida de las parcelas abandonadas al cultivo (1.83 %) y mayor en las parcelas de pastizal nativo donde se presentó en promedio un mayor porcentaje de transporte de carbono orgánico (3.79 %) que salió de la parcela de escurrimiento junto o adherido a los sedimentos en suspensión en los escurrimientos (Figura 3).

Se encontró que tanto la parcela de cultivo abandonada y la de pastizal tuvieron un mayor volumen escurrido (61.2 y 52.1 % de la lámina aplicada) con respecto al volumen escurrido (47.7 %) en las parcelas de las praderas de zacate buffel (Velásquez *et al.*, 2013). La reducción en la salida de carbono orgánico en las praderas de zacate buffel es atribuida a la excelente



**Figure 4. Carbon losses (%) for the good (GC) and poor (PC) surface conditions in the runoff plots of the buffelgrass pastures (BGP) and abandoned farmland (AFL), and the current condition (CC) of the native rangeland (NR).**  
**Figura 4. Pérdidas de carbono (%) para las condiciones buena (CB) y mala (CM) de la superficie en las parcelas de escurrimiento de las praderas de zacate buffel (PZB), parcelas de cultivo abandonadas (PCA) y la condición actual (CA) del pastizal nativo.**

Thus, carbon transport by surface runoff is greater in those sites with a soil surface condition classified as poor. These results agree with those reported by Jurado-Guerra et al. (2013), who found statistically significant differences in the organic carbon content of the soil for different rangeland conditions and soil depth.

Regarding the organic carbon content in the soil and its relationship to the carbon content in the soil particles of the different uses, a high relationship was found (Figure 5). It is clear that those sites with the greatest dry matter production, such as buffelgrass pasture (BGP), have the greatest possibility of incorporating organic carbon into the soil (Hernández-Gómez, Mando-Moreno, Mata-González, & Jiménez-Pérez, 2013) and therefore in this land use the highest value of organic carbon in eroded soil particles was found. Fortunately, land cover by grass and organic mulch in the buffelgrass pastures, even those in poor condition, is high (> 60 %) and thus prevents the rainfall and runoff energy from detaching and transporting these soil particles by rills and streams into the lower parts of the terrain. By contrast, although in the abandoned farmland (AFL) the production of organic mulch provides good cover (Table 1), the incorporation of organic carbon to the soil under this system is very low, and thus the amount of carbon in the eroded soil particles is also the lowest. It is possible that by not altering the structural pattern

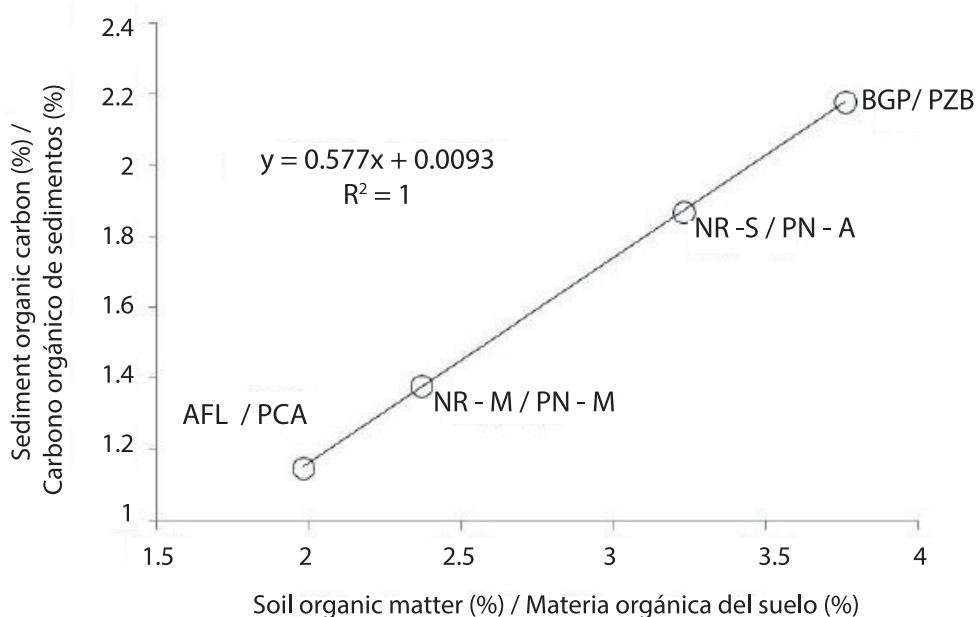
cobertura del suelo por el zacate y el mantillo orgánico sobre la superficie del mismo, mayor al 60 % (Cuadro 1), lo que redujo el impacto directo de las gotas de la lluvia simulada sobre la superficie del suelo, evitando que las pequeñas partículas orgánicas adheridas a las partículas de suelo fueran transportadas.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Jin et al., (2009) en el sentido de que la cantidad total de sedimentos en el escurrimiento es un factor que determinó en mayor proporción la pérdida de nutrientes, más que la tasa de enriquecimiento de carbono orgánico en el suelo.

Estos resultados preliminares también concuerdan con lo reportado por González et al. (2014) quienes señalan que los sitios con alta cobertura de mantillo orgánico (labranza de conservación) almacenan el carbono en el suelo, mientras que las áreas de pastizal, por el contrario, generalmente presentan mayores tasas de pérdida de carbono.

#### **Impacto de la condición de la superficie del suelo (cobertura vegetal)**

El efecto de la condición en la superficie del suelo referida en términos de su cobertura vegetal (Cuadro 1) sobre el promedio del porcentaje de salida de carbono orgánico por uso del suelo y condición superficial de las parcelas de escurrimiento se muestra en la Figura 4. Se observa



**Figure 5. Relationship between the soil organic matter content in abandoned farmland (AFL), native rangeland with mesquite (NR-M), native rangeland with shrub (NR-S) and buffelgrass pasture (BGP) plots and the organic carbon content in soil samples from those sites.**

**Figura 5. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo en parcelas de cultivo abandonadas (PCA), de Pastizal nativo con mezquite (PN-M), de Pastizal nativo con arbustivas (PN-A) y de praderas de zacate buffel (PZB) y el contenido (%) de carbono orgánico de muestras de suelo de esos sitios.**

under this land management, the soil particles or aggregates have a better structure, thereby providing greater surface stability.

#### Related factors

The relationship between the quantified variables in each runoff plot and the dependent variable (% organic carbon) measured as the Pearson correlation coefficient ( $r$ ) is shown in Table 4. Positive correlation coefficient values with statistical significance ( $P$  significance values in parentheses) are observed between the dependent variable and low land cover and total runoff volume, and negative values with the low cover in the buffelgrass plots. In the abandoned farmland plots, positive correlation coefficients with the amount of eroded sediment were found. In rangeland areas, a positive correlation with bare soils and a negative correlation with soil surface covered by organic mulch were found. It is important to note that some correlation coefficient values are high and statistically significant, but do not represent a logical sense between the amount of organic carbon present in the suspended solids and some variables related to the movement process of soil particles; therefore, these illogical relationships may be masked by mixed effects between these variables and thus the process must be represented by a multivariate model and not a simple linear relationship.

que existe una influencia en la cobertura del suelo para retener el carbono orgánico (menos de 1.5 % de carbono) en las praderas de zacate buffel y aún en los sitios de parcelas abandonadas al cultivo. Bajo condiciones de buena cobertura en estos sitios, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \geq 0.05$ ) con la mala condición en los mismos usos de suelo (mayor a 1.5 y menor de 3 % de carbono producido) y más con la condición actual del pastizal con una cobertura del suelo menor al 20 %, bajo la cual la producción de carbono en los sedimentos en suspensión fue mayor al 3 %. Al disminuir la protección de la capa superficial del suelo por la cobertura vegetal de los escenarios con mala condición, se expone el suelo al impacto de las gotas de lluvia y se ocasiona el desprendimiento y transporte de partículas de suelo cada vez mayor que en los sitios con buena condición. De esta manera el transporte de carbono por el escurrimiento superficial es mayor en aquellos sitios con una condición en la superficie del suelo clasificada como mala. Estos resultados coinciden con lo reportado por Jurado-Guerra et al. (2013) quienes encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de carbono orgánico del suelo para diferentes condiciones del pastizal y profundidad de suelo.

Con respecto al contenido de carbono orgánico en el suelo y su relación con el contenido de carbono en las partículas de suelo de los diferentes usos, se encontró

**Table 4. Pearson correlation coefficients (r) between organic carbon in sediments and site variables for different land uses.****Cuadro 4. Coeficientes de correlación Pearson (r) entre el carbono orgánico en sedimentos y variables de sitio para diferentes usos de suelo.**

Variable/Variable	Units/ Unidades	Buffelgrass pasture/ Pradera de zacate buffel	Abandoned farmland/ Parcela de cultivo abandonada	Native rangeland/ Pastizal nativo
Surface roughness/ Rugosidad de la superficie	Standard Deviation/ D. Estándar	0.638 (0.026)	0.264 (0.408)	-0.009 (0.981)
<b>Land cover/Cobertura del suelo</b>				
Mulch/Mantillo	%	0.296 (0.351)	0.676 (0.016)	-0.430 (0.248)
without/sin	%	0.535 (0.073)	-0.669 (0.017)	0.430 (0.248)
Soil Moisture/Humedad del suelo	%	0.388 (0.212)	0.025 (0.937)	-0.084 (0.830)
Runoff pH/pH del escurrimiento		-0.468 (0.125)	-0.304 (0.336)	-0.071 (0.856)
Biomass produced/Biomasa producida	g·m <sup>-2</sup>	-0.429 (0.164)	-0.558 (0.059)	* *
Rainfall intensity/Intensidad de la lluvia	mm·h <sup>-1</sup>	0.129 (0.688)	-0.674 (0.016)	0.061 (0.877)
Plot slope/Pendiente de la parcela	%	0.129 (0.690)	-0.658 (0.020)	0.249 (0.518)
Runoff volume/Volumen escurrido	L	0.384 (0.217)	-0.301 (0.341)	-0.222 (0.565)
Sediment production/ Producción de sedimentos	g	0.171 (0.596)	0.435 (0.158)	-0.638 (0.026)

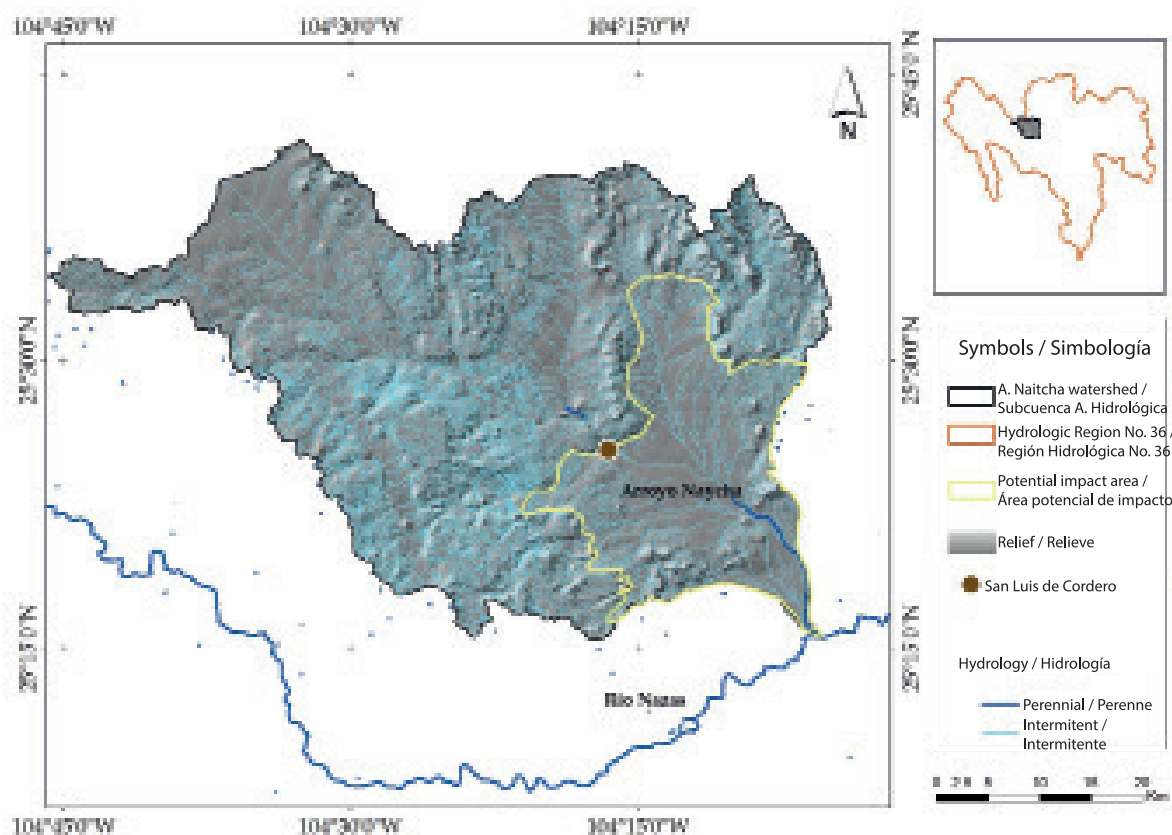
### Management implications

The transport of soil organic carbon by surface runoff in Hydrologic Region 36 in the state of Durango, and specifically in the Naycha Stream watershed (Figure 6), has implications for the water quality in the “Francisco Zarco” Dam, due to the eventual contributions of organic carbon from the tributaries to the Nazas River.

Figure 6 shows the potential impact area for the retention or transport of organic carbon by surface runoff. As a result of the surface, topography and drainage density of the Naycha Stream watershed, it is very likely that due to its hydrological response to rainfall events, most of the soil particles and organic carbon detached and carried by the surface flow easily reach the bed of the Nazas River and are deposited downstream in the “Francisco Zarco” Dam.

It is therefore essential to develop a methodological research framework to validate the information reported in this paper and generate knowledge of the processes governing the transport of soil particles and nutrients in the upper reaches of the

una alta relación (Figura 5). Es obvio que en aquellos sitios con mayor cantidad de producción de materia seca como la pradera de zacate buffel (PZB) tengan la mayor posibilidad de incorporar carbono orgánico al suelo (Hernández-Gómez, Mando-Moreno, Mata-González, & Jiménez-Pérez, 2013) y por ello se encontró en este uso del suelo el valor más alto de carbono orgánico en las partículas de suelo erosionado. Afortunadamente la cobertura del suelo por el zacate y mantillo orgánico en las praderas de zacate buffel aún en una condición pobre es alta (> 60 %) y evita que la energía de la lluvia y el escurrimiento desprendan y transporten estas partículas de suelo por los canalillos y arroyuelos hacia las partes bajas del terreno. Por el contrario, a pesar de que en la parcela de cultivo abandonada (PCA) la producción de mantillo orgánico ofrece una buena cobertura (Cuadro 1), la incorporación de carbono orgánico al suelo, bajo este sistema es muy baja, por lo que consecuentemente la cantidad de carbono en las partículas de suelo erosionado también es la más baja. Es posible que al no alterar el patrón estructural bajo este manejo del suelo, exista una mejor estructura de las partículas o agregados del suelo, propiciando de esta manera una mayor estabilidad de la superficie.



**Figure 6. Spatial representation of the source area of organic carbon contributions to the Nazas River.**  
**Figura 6. Representación espacial del área, fuente de aportación de carbono orgánico al Río Nazas.**

watersheds. This is necessary in order to determine the best management practices (increasing soil plant cover by establishing buffelgrass pastures) that allow sustainable management of natural resources and minimize the risk of water pollution due to dragging of contaminants and nutrients from agricultural plots and rangelands upstream of the Nazas River.

On the other hand, it is worth noting the importance of the protection provided to the soil surface by vegetation, mainly in abandoned agricultural plots and in overgrazed rangelands, since the elimination of this property converts the land into a source area for sediments, organic carbon and other nutrients (Kleinman et al., 2006).

### Conclusions

The low land cover by vegetation or organic mulch in native rangelands and abandoned farmland areas in arid zones favors or increases the transport of organic carbon in suspended sediments in surface runoff. These conditions of physical deterioration result in these ecosystems becoming a source of organic carbon production in parts of the watershed that contribute runoff directly to natural waterways and water storage bodies.

### Factores relacionados

La relación entre las variables cuantificadas en cada parcela de escurrimiento y la variable dependiente (% de carbono orgánico) medida como el coeficiente de correlación Pearson ( $r$ ) se presenta en el Cuadro 4. Se observan valores del coeficiente de correlación positivos con significancia estadística (valores de significancia  $P$  entre paréntesis) entre la variable dependiente y baja cobertura del suelo y el volumen total escurrido y negativa con la baja cobertura en las parcelas de zacate buffel. En las parcelas de cultivo abandonadas se encontraron coeficientes de correlación positiva con la cantidad de sedimentos erosionados. En las áreas de pastizal se encontró una correlación positiva con los suelos sin cobertura y una correlación negativa con la cobertura del suelo por mantillo orgánico sobre la superficie del suelo. Es importante señalar que algunos valores del coeficiente de correlación son altos y significativos estadísticamente, pero no representan un sentido lógico entre la cantidad de carbono orgánico presente en los sólidos en suspensión y algunas variables relacionadas con el proceso de movimiento de las partículas del suelo; por lo que estas relaciones ilógicas pueden estar enmascaradas por efectos mezclados entre estas variables y entonces

The best management option to prevent carbon transport by surface runoff in degraded areas (farm plots abandoned due to being unproductive with annual crops) in arid zones is to establish buffelgrass pastures in them.

While there is a greater amount of carbon available to be transported by water in buffelgrass pastures, the land cover and biomass production reduce organic carbon output.

In the rangeland areas, although there is less organic carbon available to be transported by water, overgrazing removes the low land cover and thus facilitates the transport of this element to the lower parts of the relief.

### Acknowledgments

Activities carried out in this work were part of the project entitled "Evaluation and selection of buffelgrass materials for establishing rain-fed pastures," funded by the *Fundación Produce Durango, A.C.* The technical reviewers are also thanked for their valuable contributions that improved the quality of this paper.

### End of English version

### References / Referencias

- Alkharabsheh, M. M., Alexandridis, T. K., Bilas, G., Misopolinos, N., & Silleos, N. (2013). Impact of Land Cover Change on Soil Erosion Hazard in Northern Jordan Using Remote Sensing and GIS. *Procedia Environmental Sci.* 19, 912 – 921.
- Anderson, J. M. (1991). The effects of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forest. *Ecol. Appl.*, 1, 326 - 347.
- Brown J. B. & J. Thorpe. (2008). Climate change and rangelands: responding rationally to uncertainty. *Rangelands*. 30, 3 – 6.
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero – Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (COTECOCA-SARH). (1979). Comisión técnico consultiva para la determinación regional de coeficientes de agostadero. Durango. Ed. Calypso S. A. México, D. F. 200 p.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal*, 57(1), 192-194.
- García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). Offset Larios S. A. México, D.F. 46 – 52.
- García-Gutiérrez, C., Cháirez-Hernández, I., Rivera-García, E., Gurrola-Reyes, J. N., & González-Maldonado, M. B. (2006). Chapulines (ORTHOPTERA: ACRIDOIDEA)

el proceso debe de estar representado por un modelo multivariado y no por una relación lineal simple.

### Implicaciones de manejo

El transporte de carbono orgánico del suelo por los escurrimientos superficiales en la Región Hidrológica 36 en el estado de Durango, y específicamente en la subcuenca del Arroyo Naycha (Figura 6), tiene implicaciones en la calidad del agua de la Presa "Francisco Zarco", por las eventuales aportaciones de carbono orgánico de los afluentes al Río Nazas.

En la Figura 6 se observa el área potencial de impacto en la retención o transporte del carbono orgánico por los escurrimientos superficiales. Por la superficie, topografía y densidad de drenaje de la subcuenca del Arroyo Naycha, es muy factible que por su respuesta hidrológica a eventos de precipitación, la mayoría de las partículas de suelo y carbono orgánico que son desprendidas y transportadas por el flujo superficial, fácilmente lleguen al cauce del Río Nazas y sean depositadas aguas abajo en la Presa "Francisco Zarco".

Por esta razón es imprescindible desarrollar un marco metodológico de investigación para validar la información reportada en este artículo y generar el conocimiento de los procesos que gobiernan el transporte de partículas de suelo y nutrimentos en las partes altas de las subcuencas. Lo anterior con el propósito de determinar las mejores prácticas de manejo (incremento de la cobertura vegetal del suelo con el establecimiento de praderas de zacate buffel) que permitan un manejo sostenible de los recursos naturales y minimicen el riesgo de contaminación del agua por arrastre de contaminantes y nutrimentos provenientes de las parcelas agrícolas y de pastizales aguas arriba del Río Nazas.

Por otro lado, es conveniente señalar la importancia de la protección de la superficie del suelo por la vegetación, principalmente en las parcelas de cultivo abandonadas y en los pastizales sobrepastoreados, ya que la eliminación de esta propiedad convierte los terrenos en área fuente de producción de sedimentos y de producción de carbono orgánico y otros nutrimentos (Kleinman et al., 2006).

### Conclusiones

La escasa cobertura del suelo por la vegetación o mantillo orgánico en los pastizales nativos y áreas de cultivo abandonadas de zonas áridas, propician o incrementan el transporte de carbono orgánico en los sedimentos en suspensión en el agua de escurrimiento superficial. Bajo estas condiciones de deterioro físico hace que estos ecosistemas sean una fuente de

- de pastizales de la Región de los Llanos, Durango, México. *Folia Entomol. Mex.* 45 (3), 273 - 282.
- González, M. L., Mireles, M. A., Carrillo A., Báez, P. A., & González C J. M. (2014). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1275 – 1285.
- Guo, L. B. & Gifford, M. R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345 - 360.
- Gupta, M. K., & Sharma, S. D. (2013). Sequestered organic Carbon status in the soils under grassland in Uttarakhand State, India. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1, 7-9.
- Hernández-Gómez, M., Mando-Moreno, M., Mata-González R., Jiménez-Pérez, J. (2013). Captura de carbono en ecosistemas de pastizales semiáridos del Altiplano del norte de México. *In: Paz P. F., J. Wong G., M. Bazan y V. Saynes (eds.) Estado actual del conocimiento del ciclo del carbón y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. ISBN 978-607-96490-1-2. pp. 82 – 89.*
- Jin, K., Cornelis, W. M., Gabriels, D., Baert, M., Wu, H. J., Schiettecatte, W., Cai, D. X., De Neve, S., Jin, J. Y., Hartmann R., & Hofman G. (2009). Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon losses. *CATENA*. 78, 81 – 86.
- Jurado-Guerra, P., Saucedo-Terán, R., Morales-Nieto C., & Martínez-Salvador M. (2013). Carbono orgánico del suelo y su relación con la condición en pastizales y matorrales de chihuahua. *In: Paz P. F., J. Wong G., M. Bazan y V. Saynes (eds.) Estado actual del conocimiento del ciclo del carbón y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. ISBN 978-607-96490-1-2., 54 – 61.*
- Kleinman, P. J., Srinivasan, M. S., Dell, C. J., Schmidt, J. P., Shapley, A. N., & Bryant, R. B. (2006). Role of rainfall intensity and hydrology in nutrient transport via surface runoff. *J Environ Qual.* 35, 1248 – 1259.
- Lal, R. (2000). World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Adv. Agron.* 71, 145 - 191.
- Lal, R., (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma*, 123, 1 - 22.
- Martínez-Montoya, J. F., Olmos-Oropeza, G., Palacio-Nuñez, J., & Ruíz-Vera, V. M. (2013). Estimación del carbono orgánico en suelos de zonas áridas y semiáridas. *In: Paz P. F., J. Wong G., M. Bazan y V. Saynes (eds.) Estado actual del conocimiento del ciclo del carbon y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Programa Mexicano del Carbono. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. ISBN 978-607-96490-1-2., 101 – 107.*
- producción de carbono orgánico en las partes de la cuenca que aportan escurrimientos directamente a cauces naturales y cuerpos de almacenamiento de agua.
- Las mejores opciones de manejo para evitar el transporte de carbono por el escurrimiento superficial en áreas degradadas (parcelas de cultivo abandonadas) de zonas áridas son el establecimiento de praderas de zacate buffel en áreas agrícolas que son abandonadas por ser improductivas con cultivos anuales.
- A pesar de que existe mayor cantidad de carbono disponible a ser transportado por el agua en las praderas de zacate buffel, la cobertura del suelo y la producción de biomasa reducen la salida de carbono orgánico.
- En las áreas de pastizal, aunque existe menos carbono orgánico disponible a ser transportado por el agua, el sobrepastoreo elimina la escasa cobertura del suelo y con ello se facilita el transporte de este elemento hacia las partes bajas del relieve.

### Agradecimientos

Las actividades realizadas en este trabajo formaron parte del Proyecto “Evaluación y selección de materiales de zacate buffel para el establecimiento de praderas de temporal” financiado por la Fundación PRODUCE DURANGO, A.C. También se agradece a los revisores técnicos sus valiosas aportaciones para mejorar la calidad de esta publicación.

### Fin de la versión en español

- Medina, G. G., Díaz, P. G., López, H. J., Ruíz, C. J. A., & Marín S. M. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango. (Periodo 1961 – 2003). Libro Técnico no. 1. Campo Experimental Valle del Guadiana. CIRNOC-INIFAP., 224.
- Miller, W. P. (1987). A selenoid-operated, variable intensity rainfall simulator. *Soil Sci. Am J.* 51, 832 – 834.
- Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biol.* 6, 317 - 327.
- SAS, Institute. (2001). SAS/C online DocTM, Release 8.00. Copyright© 2001. SAS Institute, Cary, NC. USA.
- Velásquez, V. M. A., Esquivel, A. G., Sánchez, C. I., Gutiérrez, L. R., Muñoz, V. J. A., Macías, R. H., & Bueno H P. (2013). Respuesta hidrológica de diferentes usos del suelo en las zonas áridas del estado de Durango, México. Folleto Técnico N° 29. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta- Atmósfera. INIFAP. 41 p. ISBN: 978-607-37-0120-4.

- Walkley, A. & 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 Science* 37, 29 - 38.
- Xue, X., Luo, Y., Zhou, X., Sherry, R., Jia, X. (2011). Climate warming increases soil erosion, carbon and nitrogen loss with biofuel feedstock harvest in tallgrass prairie, *Global Change Biology*, 3, 198 - 207.