

# IMPACTO DE LA ACTIVIDAD ANTROPOGÉNICA EN EL SUELO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA “EL TRIUNFO”, CHIAPAS (MÉXICO)

## IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY ON THE SOIL OF “EL TRIUNFO” BIOSPHERE RESERVE, CHIAPAS (MEXICO)

Lourdes **Adriano-Anaya**, S. Nevy **Quezada-Arguello**, Manuel **Rincón-Rabanales**,  
Rito **Coronel-Niño**, Isidro **Ovando-Medina**, Miguel **Salvador-Figueroa\***

Instituto de Biociencias. Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Belisario Domínguez, Kilómetro 1081, Sin Número, Terán Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 29050. (maria.adriano@unach.mx; squezada89@hotmail.com; mc.rabanales@hotmail.com; ritocoronel@gmail.com; btmedina@gmail.com; miguel.salvador@unach.mx)

### RESUMEN

Se estudió el impacto de la actividad humana en el suelo de la Reserva de la Biosfera “El Triunfo”, Chiapas. Para ello se determinaron, a lo largo de un año, los valores de 14 parámetros, seis físico-químicos y ocho bioquímicos, en suelos de bosque, cafetal, pastizal y milpa. Los valores de los parámetros en el suelo del bosque fueron diferentes significativamente a los de cafetal, pastizal y milpa. Tomando como base el suelo de bosque se consideró que la actividad humana alteró negativamente la calidad del suelo. Para tener claridad del nivel de impacto se propuso una escala, de 0.0 a 5.0, identificada como Índice de Deterioro del Suelo (IDS), y se desarrolló el procedimiento para determinarlo en los suelos con alteración humana. El suelo de milpa tuvo el mayor valor de IDS, ubicándose en el rango de alta degradación. Los suelos de cafetal y de pastizal se ubicaron en el rango de mediana degradación. El procedimiento y escala de IDS se reforzó a través del análisis discriminante.

**Palabras clave:** actividad antropogénica, calidad de suelo, reserva de la biosfera.

### INTRODUCCIÓN

En México el estado de Chiapas posee el mayor número de áreas naturales protegidas, las cuales ofrecen una amplia variedad de climas y tipos de vegetación (González-Ocampo *et al.*, 2014). En los últimos años, dichas áreas han experimentado cambios ocasionados por la actividad antropogénica. El más visible es la pérdida de cobertura vegetal ocasionada por la deforestación, quema y labranza para

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2016. Aprobado: enero, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 16: 311-329. 2019.

### ABSTRACT

The impact of human activity on the soil of “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas, was studied. For this purpose, the values of 14 parameters were determined throughout a year: six physical-chemical and eight biochemical, in forest, coffee plantation, pasture and milpa soils. The values of the parameters in the forest soil were significantly different from those in the coffee plantation, pasture and milpa soils. On the basis of the forest soil, it was considered that human activity altered the soil quality negatively. To have clarity about the level of impact, a scale of 0.0 to 5.0 was suggested, identified as the Soil Deterioration Index (SDI), and the procedure was developed to determine it in the soils with human alteration. The milpa soil had the highest SDI value, placing it in the range of high degradation. The coffee plantation and pasture soils were found in the range of medium degradation. The procedure and scale of SDI was reinforced by discriminant analysis.

**Key words:** soil quality, anthropogenic activity, Biosphere Reserve.

### INTRODUCTION

In Mexico, the state of Chiapas has the highest number of natural protected areas, which offer a broad variety of climates and vegetation types (González-Ocampo *et al.*, 2014). In recent years, these areas have experienced changes caused by anthropogenic activity. The most visible is the loss of plant cover from deforestation, burning and farming to implement agricultural and livestock fields (Alvear *et al.*, 2007; Broquen *et al.*, 2003).

Agriculture is the most damaging human activity for soils; however, it is the activity with

implementar campos agrícolas y ganaderos (Alvear *et al.*, 2007; Broquen *et al.*, 2003).

La agricultura es la actividad humana que más perjudica al suelo; sin embargo, es la actividad con menores restricciones normativas (Cerón y Melgarejo, 2005). El cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y pecuarias ocasiona 35 % de la deforestación; el resto se divide entre pérdida de la cubierta vegetal por urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (Velázquez *et al.*, 2002). Se ha reportado que el cambio de uso del suelo produce alteraciones en las reservas de materia orgánica (MO) y disminuye la capacidad de reciclaje de nutrientes y la cantidad de microorganismos del suelo (Alvear *et al.*, 2006; Freitas *et al.*, 2015; Mohawesh *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2017).

La fertilidad y calidad del suelo se ha tratado de correlacionar, a través del uso de múltiples indicadores, con los parámetros físicos, químicos, biológicos y bioquímicos. Por depender de la cantidad y diversidad de materia viva del suelo se ha establecido que la actividad enzimática del suelo y el contenido de glomalinas son los parámetros que responden con mayor celeridad a las perturbaciones del sistema (Knorr *et al.*, 2003; Nichols and Wright, 2005; Zamora *et al.*, 2005; Defrieri *et al.*, 2008; Sánchez-Arias *et al.*, 2010). A pesar de lo anterior, los diferentes trabajos se han limitado a interpretar los hallazgos de mayor o menor valor de las variables estudiadas como resultantes de la actividad perturbadora y como indicadores de calidad (Abril, 2003; Quintero *et al.*, 2003; Acosta and Paolini, 2005; Alvear *et al.*, 2007).

Los trabajos orientados a establecer el grado de impacto de la actividad antropogénica en el suelo son escasos, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar el nivel de impacto de las actividades humanas en el suelo del polígono Ovando II de la reserva de la biosfera “El Triunfo” Chiapas (México).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

El área de estudio se ubicó en el polígono Ovando II de la reserva de la biosfera “El Triunfo”, Chiapas (entre los 15°09'10" y 15°57'02" Latitud N; y entre los 92°34'04" y 93°12'42" Longitud O) (Figura 1).

least legal restrictions (Cerón and Melgarejo, 2005). The change in land use to agricultural and livestock activities causes 35 % of deforestation; the rest is divided between loss of plant cover from urbanization, overexploitation of the vegetation and industrial activities (Velázquez *et al.*, 2002). It has been reported that the change in land use produces alterations in organic matter (OM) reserves, and decreases the ability to recycle nutrients and the amount of microorganisms in the soil (Alvear *et al.*, 2006; Freitas *et al.*, 2015; Mohawesh *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2017).

There has been an attempt to correlate soil fertility and quality, through the use of multiple indicators, with the physical, chemical, biological and biochemical parameters. Because they depend on the quantity and diversity of the living matter in the soil, it has been established that the enzymatic activity of the soil and the glomalin content are the parameters that respond with more speed to disturbances in the system (Knorr *et al.*, 2003; Nichols and Wright, 2005; Zamora *et al.*, 2005; Defrieri *et al.*, 2008; Sánchez-Arias *et al.*, 2010). Despite this, different studies have been limited to interpreting the findings of higher or lower value of the variables studied, which result from the disturbing activity and as indicators of quality (Abril, 2003; Quintero *et al.*, 2003; Acosta and Paolini, 2005; Alvear *et al.*, 2007).

The studies directed at establishing the degree of impact of anthropogenic activity on the soil are scarce, which is why the objective of this study was to determine the level of impact of human activities on the soil of the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas (Mexico).

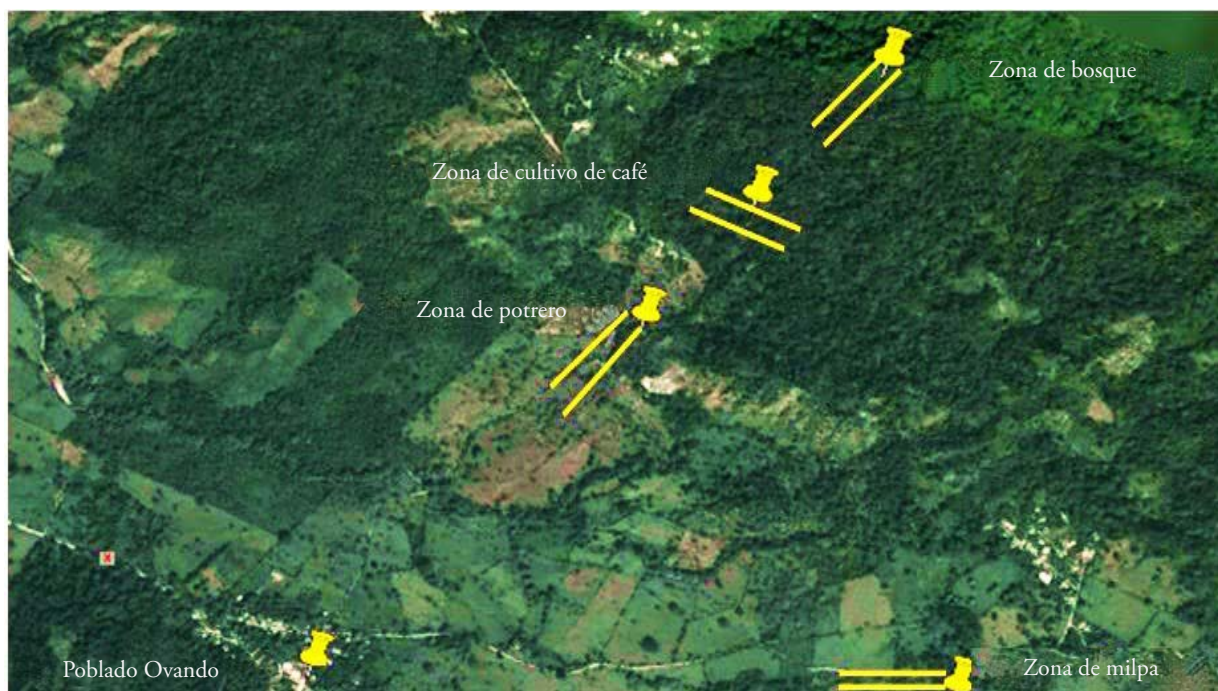
## MATERIALS AND METHODS

### Location of the study area

The study area is located in the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas (between 15°09'10" and 15°57'02" Latitude N; and between 92°34'04" and 93°12'42" Longitude W) (Figure 1).

### Site and sampling

Four significant linear transects of 200 m × 20 m were traced in the forest zone (F), coffee cultivation



**Figura 1.** Sitios de muestreo en el polígono Ovando II de la reserva de la biosfera “El Triunfo”, Chiapas.  
**Figure 1.** Sampling sites in the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas.

### Sitio y toma de muestras

Se trazaron cuatro sendos transectos lineales de 200 m × 20 m en la zona de bosque (B), zona de cultivo de café (C), zona de potrero (P) y zona de milpa (M) (Figura 1). Cada 50 m, y a profundidad de 0 a 20 cm, se recolectó una muestra compuesta de suelo (aproximadamente 2 kg), constituida por la mezcla homogénea de cinco submuestras tomadas, con una pala recta (20 cm ancho y profundidad) después de retirar la materia orgánica superficial, tomadas en el centro y los vértices de un cuadrado de 2 m por lado, ubicado perpendicular y aleatoriamente a los puntos de muestreo. El suelo de las muestras compuestas se secó a temperatura ambiente bajo sombra y posteriormente se disgregó y tamizó (malla de 2 mm). El suelo procesado se almacenó en bolsas de plástico, a  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su empleo. Con el fin de conocer el comportamiento de las variables del suelo a lo largo de un ciclo, las muestras se tomaron en febrero (estación seca), mayo (inicio de época de lluvia), agosto (lluvia establecida) y noviembre (inicio de la época de sequía) del año 2014. En total se tuvieron 80 muestras de suelo.

zone (C), pasture zone (P) and *milpa* (M) (Figure 1). Every 50 m, and at a depth of 0 to 20 cm, a compound soil sample was collected (approximately 2 kg), constituted by a homogeneous mixture of five subsamples taken with a straight shovel (20 cm width and depth) after withdrawing the superficial organic material, taken at the center and the angles of a square of 2 m per side, placed perpendicularly and randomly to the sampling points. The soil from the compound samples was dried at environmental temperature under shade and then was dispersed and sieved (2 mm sieve). The processed soil was stored in plastic bags, at  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$  until its use. With the aim of understanding the behavior of soil variables throughout a cycle, the samples were taken in February (dry season), May (beginning of the rain season), August (established rain), and November (beginning of the dry season) of the year 2014. In total, 80 soil samples were taken.

### Physical and chemical properties of the soils

The content of nitrate was determined for all soil samples with the procedure described by Brambila *et al.* (2013), using a specific electrode (Oakton);

### Propiedades físicas y químicas de los suelos

A todas las muestras de suelo se les determinó el contenido de nitrato con el procedimiento descrito por Brambila *et al.* (2013), empleando un electrodo específico (Oakton®); amonio, con el procedimiento descrito por Arango (2005), utilizando un electrodo específico (Oakton®); nitrógeno total, aplicando el método micro-Kjeldah (Diario Oficial de la Federación, 2002a); pH con potenciómetro Corning-440 y siguiendo las recomendaciones de la Norma Mexicana (Diario Oficial de la Federación, 2002b); conductividad eléctrica [conductímetro YSI-3200, utilizando una suspensión de suelo:agua 1:2 (p:v)], materia orgánica por oxidación con dicromato en medio ácido, y sacarosa como estándar (Sadzawka *et al.*, 2006) y textura (método de Bouyoucos). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

### Propiedades bioquímicas de los suelos

A cada una de las muestras de suelo se le determinó: actividad de b-glucosidasa (Coughlan, 1985), fosfatasa alcalina y fosfatasa ácida (Tabatabai y Bremner, 1972; Barroti y Nahas, 2003), esterasa (Kokalis-Burelle *et al.*, 1994), proteasa (Sardans y Peñuelas, 2005) e invertasa (Inbar y Boehm, 1991). Todas las actividades fueron reportadas en unidades internacionales ( $\text{Katal g}_{\text{suelo}}^{-1}$ ). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

### Glomalina total y fácilmente extraíble

A todos los suelos se le determinó el contenido de glomalina total y glomalina fácilmente extraíble, empleando el método de Wright y Upadhyaya (1998).

### Índice de degradación del suelo

Para establecer el Índice de Degradación del Suelo (IDS) se siguió el siguiente procedimiento: 1) Considerando que en el suelo de bosque (zona protegida) la actividad antropogénica es mínima, el valor de todas las variables del suelo de dicho espacio se tomó como base de comparación; 2) Para cada una de las variables y tiempo de muestreo se construyó un cuadro de rangos con base en la desviación estándar promedio de todos los valores; 3) Los valores de cada una de las variables en los suelos del cafetal (C), del pastizal (P)

ammonium, with the procedure described by Arango (2005), using a specific electrode (Oakton®); total nitrogen, applying the micro-Kjeldah method (Diario Oficial de la Federación, 2002a); pH with Corning-440 potentiometer and following the recommendations of the Mexican Norm (Diario Oficial de la Federación, 2002b); electrical conductivity [electrical conductivity meter YSI-3200, using a 1:2 (p:v) soil:water suspension], organic matter from oxidation with dichromate in acid medium, and sucrose as standard (Sadzawka *et al.*, 2006), and texture (Bouyoucos method). All determinations were carried out by triplicate.

### Biochemical properties of the soils

For each one of the soil samples, the following were determined: b-glucosidase activity (Coughlan, 1985), alkaline phosphatase and acid phosphatase (Tabatabai and Bremner, 1972; Barroti and Nahas, 2003), esterase (Kokalis-Burelle *et al.*, 1994), protease (Sardans and Peñuelas, 2005), and invertase (Inbar and Boehm, 1991). All activities were reported in international units ( $\text{Katal g}_{\text{suelo}}^{-1}$ ). All the determinations were done by triplicate.

### Total and easily extractable glomalin

The content of total glomalin and easily extractable glomalin was determined in all soils, using the Wright and Upadhyaya (1998) method.

### Soil degradation index

To establish the Soil Degradation Index (SDI), the following procedure was followed: 1) Considering that anthropogenic activity is minimal in the forest soil (protected zone), the value of all the soil variables of that space was taken as a basis for comparison; 2) For each of the variables and sampling times, a table of ranges was built based on the average standard deviation of all the values; 3) The values of each of the soil variables in the coffee plantation (C), pasture (P) and milpa (M) were ordered in function of the table of ranges previously described; 4) A table was built with the values codified as number of standard deviation (positive or negative) of the soil variables from C, P and M; 5) Absolute values were used (the negative values were multiplied by -1) and the

y de la milpa (M) se ordenaron en función del cuadro de rangos previamente descrito; 4) Se construyó un cuadro con los valores codificados como número de desviación estándar (positivo o negativo) de las variables de los suelos de C, P y M; 5) Se trabajó con valores absolutos (los valores negativos se multiplicaron por  $-1$ ) y se calculó el valor promedio para los cuatro muestreos; 6) Para cada uno de los distintos usos de suelo se realizó la suma algebraica de los valores promedio de cada una de las variables, el valor resultante se dividió entre el número de variables analizadas y al último valor se le denominó IDS; y 7) Se estableció una escala, de 0.00 a 5.00, con rangos de una unidad, para clasificar el nivel de degradación de los suelos (Cuadro 1).

### Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza ( $p < 0.05$ ) y donde se encontró diferencia se aplicó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Los datos codificados como número de desviación estándar se sometieron al análisis discriminante de correspondencia canónica, previa prueba de normalidad de Shapiro-Wilks. Para todo lo anterior se empleó el paquete estadístico InfoStat Profesional Ver 2011.

## RESULTADOS

### Propiedades químicas y físicas del suelo

De los suelos evaluados en el polígono Ovando II de la reserva de la biosfera «El Triunfo», 66.7 % de ellos presentó textura areno-francoso, mientras que el resto fue de textura franco-arenoso. El suelo de C tuvo mayor contenido de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , mientras que el de B presentó el mayor contenido de nitrógeno total. Los de P y M tuvieron pH cercano a neutro y los de B y C fueron más ácidos. Por su parte, el de B y C presentó mayor CE. Asimismo, el suelo de B y P presentaron la mayor cantidad de materia orgánica (Tukey,  $p \leq 0.005$ ; Cuadro 2).

En los suelos de B y C, la CE mostró tendencias a la alza, 4.0 y 3.5 veces respectivamente, en el lapso de los meses de febrero, mayo y agosto; posteriormente, dicha variable disminuyó,  $-37.5\%$  y  $-42.8\%$ , respectivamente. El incremento en la CE en los suelos de P solo se observó de los meses de febrero a mayo (2.0 veces) y la disminución ( $-66.7\%$ ) se observó

average value was calculated for the four samples; 6) For each of the different soil uses, the algebraic sum of the average values was carried out for each of the variables, the resulting value was divided by the number of variables analyzed, and the last value was called SDI; and 7) A scale was established, from 0.00 to 5.00, with ranges of a unit, to classify the degradation level of the soils (Table 1).

### Statistical analysis

The results were subjected to variance analysis ( $p < 0.05$ ) and where a difference was found, the Tukey test ( $p < 0.05$ ) was applied. The data codified as number of standard deviation were subjected to the discriminant analysis of canonic correspondence, after the Shapiro-Wilks normality test. For all of this, the statistical package InfoStat Profesional Ver 2011 was used.

## RESULTS

### Chemical and physical properties of the soil

From the soils evaluated in the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, 66.7% of them presented sandy-loam texture, while the rest was loamy-sand texture. Soil C had a higher content of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$ , while F presented the highest content of total nitrogen. Those of P and M had a pH close to neutral and those of F and C were more acid. In turn, F and C presented higher CE. Likewise, the F and P soils presented the highest amount of organic matter (Tukey,  $p \leq 0.005$ ; Table 2).

In F and C soils, the CE showed an increasing trend, 4.0 and 3.5 times respectively, in the lapse of the months of February, May and August; later, this variable decreased,  $-37.5\%$  and  $-42.8\%$ ,

**Cuadro 1.** Escala para clasificar el grado de deterioro del suelo.  
**Table 1.** Scale used to classify the degree of deterioration of the soil.

Rango	IDS
0.00-0.99	Nulo
1.00-1.99	Bajo
2.00-2.99	Medio
3.00-3.99	Alto
4.00-5.00	Muy alto

**Cuadro 2.** Características fisicoquímicas de los suelos del polígono Ovando II de la reserva de la Biósfera “El Triunfo”, Chiapas.  
**Table 2.** Physical-chemical characteristics of the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas.

	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre	
		Bosque			
pH	6.37±0.12 Ba	5.81±0.18 Bb	5.03±0.19 Bb	5.98±0.22 Bb	
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0.02±0.01 Ab	0.06±0.01 Aab	0.08±0.01 Aa	0.05±0.01 Aab	
MO (%)	5.30±0.62 Aa	5.26±0.44 Aa	5.16±0.53 Aa	5.18±0.60 Aa	
NO <sup>-3</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	28.93±4.45 Ac	31.21±4.45 Bbc	48.14±4.45 Bb	74.47±4.45 Aa	
NH <sup>+4</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.11±0.01 Ba	0.09±0.01 ABb	0.03±0.01 Bc	0.03±0.01 Bc	
NT (%)	0.27±0.03 Aa	0.21±0.03 Bc	0.16±0.03 Ad	0.23±0.03 Ab	
		Café			
pH	6.10±0.13 Ba	5.78±0.20 Bb	4.69±0.21 Bb	5.66±0.22 Bb	
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0.02±0.01 Ab	0.05±0.01 Aab	0.07±0.01 Aa	0.04±0.01 Aab	
MO (%)	4.13±0.69 ABa	3.84±0.49 ABa	3.89±0.59 ABa	4.22±0.67 ABa	
NO <sup>-3</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	34.76±5.69 Ab	48.52±5.69 Ab	80.90±5.69 Aa	32.37±5.69 Bb	
NH <sup>+4</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.23±0.02 Aa	0.11±0.02 Aab	0.07±0.02 Ab	0.05±0.02 Ab	
NT (%)	0.20±0.04 Cb	0.28±0.04 Aa	0.10 ± 0.04 Dd	0.15±0.04 Cc	
		Potrero			
pH	7.24±0.12 Aa	6.86±0.18 Ab	6.62±0.19 Ab	6.88±0.19 Ab	
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0.01±0.01 Ab	0.03±0.01 Ba	0.02±0.01 Bb	0.01±0.01 Bb	
MO (%)	5.02±0.62 Aa	4.47±0.44 Aa	5.06±0.53 Aa	4.88±0.60 Aa	
NO <sup>-3</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	18.68±5.92 Bb	22.61±5.92 BCb	22.93±5.92 Cb	65.15±5.92 Aa	
NH <sup>+4</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.08±0.03 Ba	0.07±0.03 Bb	0.03±0.03 Bc	0.05±0.03 Ac	
NT (%)	0.24±0.03 Bb	0.21±0.03 Bb	0.14±0.03 Bc	0.27±0.03 Aa	
		Milpa			
pH	7.14±0.13 Aa	6.55±0.20 Ab	5.66±0.21 Ac	6.35±0.19 Ab	
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0.01±0.01 Ab	0.01±0.01 Bb	0.02±0.01 Bb	0.04±0.01 Aa	
MO (%)	3.25±0.69 Ba	2.99±0.49 Ba	3.27±0.59 Ba	3.32±0.49 Ba	
NO <sup>-3</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	14.37±1.58 Bc	12.98±1.58 Cc	46.58±1.58 Ba	37.67±1.58 Bb	
NH <sup>+4</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	0.12±0.01 Ba	0.09±0.01 ABb	0.04±0.01 Bc	0.03±0.01 ABc	
NT (%)	0.18±0.03 Da	0.13±0.03 Cb	0.13±0.03 Cb	0.16±0.03 Bab	

Valores con letras diferentes indican diferencia significativa (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Letras mayúsculas representan comparación entre sitios de muestreo. Letras minúsculas, comparación entre muestreos. ♦ Values with different letters indicate significant difference (Tukey  $\alpha=0.05$ ). Uppercase letters represent comparison between sampling sites. Lowercase letters, comparison between samples.

durante agosto y noviembre, mientras que en el suelo de M se observó incremento (4.0 veces) a partir del mes de agosto (Cuadro 2).

Con excepción de los suelos del C, donde en el mes de mayo se observó incremento en el contenido de nitrógeno total (40 % respecto al mes de febrero), dicha variable se comportó de forma similar en los suelos de B, P y M, es decir, la mayor cantidad se encontró en el mes de febrero; en el periodo de mayo a agosto se encontró disminución (-40.7 %, -41.7% y -27.8 %, respectivamente) y en noviembre se observó incremento en su concentración (25.0%, 92.9% y 23.1 %, respectivamente) (Cuadro 2).

Por su parte, en los suelos de B y P la concentración del NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se incrementó 2.6 y 3.5 veces, respectivamente, durante el periodo de estudio; en los de C

respectively. The CE increase in P soils was only observed for the months of February to May (2.0 times) and the decrease (-66.7 %) was observed during August and November, while an increase was observed in the M soil (4.0 times) as of the month of August (Table 2).

With the exception of C soils, where an increase was observed in the total nitrogen content in the month of May (40 % compared to the month of February), this variable behaved similarly in the F, P and M soils, that is, the highest amount was found in the month of February; in the period of May to August, there was a decrease (-40.7 %, -41.7 % and -27.8 %, respectively) and an increase in its concentration was observed in November (25.0 %, 92.9 % and 23.1 %, respectively) (Table 2).

y M el incremento, 2.3 y 3.2 veces, respectivamente, se observó solo en el periodo febrero-agosto y posteriormente hubo disminución ( $-60\%$  y  $-19\%$ , respectivamente).

Asimismo, el contenido de  $\text{NH}_4^+$  disminuyó 3.7, 3.9, 2.0 y 3.4 veces para B, C, P y M, respectivamente, durante el tiempo que se realizó el estudio (Cuadro 2).

Dentro de todos los sitios el contenido de materia orgánica no mostró cambios significativos durante el tiempo evaluado (Cuadro 2). Sin embargo, entre sitios, el suelo de la M tuvo  $38.6\%$ ,  $20.2\%$  y  $34.0\%$  menos materia orgánica que los de B, C y P, respectivamente. Las diferencias fueron significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ; Cuadro 2).

### Actividad enzimática de los suelos

En el Cuadro 3 se muestran los valores de la actividad de las enzimas del suelo determinadas en este trabajo. Se puede observar que a lo largo del tiempo la dinámica de dichas enzimas fue muy parecido (aunque no sus valores), es decir, en la muestra del

In their part, in F and P soils the concentration of  $\text{NO}_3^-$  increased 2.6 and 3.5 times, respectively, during the study period; in C and M soils the increase of 2.3 and 3.2 times, respectively, was observed only in the February-August period and later there was a decrease ( $-60\%$  and  $-19\%$ , respectively).

Likewise, the content of  $\text{NH}_4^+$  decreased 3.7, 3.9, 2.0 and 3.4 times for F, C, P and M, respectively, during the time that the study was performed (Table 2).

In all the sites, the content of organic matter did not show significant changes during the time evaluated (Table 2). However, among sites, the M soil had  $38.6\%$ ,  $20.2\%$  and  $34.0\%$  less organic matter than F, C and P soils, respectively. The differences were significant (Tukey,  $p \leq 0.05$ ; Table 2).

### Enzymatic activity of the soils

Table 3 shows the values of the soil enzyme activity determined in this study. It can be observed that throughout time the dynamics of the enzymes was very similar (although not its values); that is, in

**Cuadro 3.** Actividad enzimática ( $\text{nKat kg}_{\text{suelo}}^{-1}$ ) de los suelos de bosque (B), café (C), pastizal (P) y milpa (M) del polígono Ovando II de la Reserva de la Biosfera “El Triunfo”, Chiapas.

**Table 3.** Enzymatic activity ( $\text{nKat kg}_{\text{suelo}}^{-1}$ ) of the forest (B), coffee plantation (C), pasture (P) and milpa (M) soils of the Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas.

ZM	Mes	Fosfatasa ácida	Fosfatasa basica	Esterasa	Invertasa	Proteasa	B-glucosidasa
B	Feb	$0.11 \pm 0.01$ Ab	$0.13 \pm 0.02$ Ac	$185.6 \pm 13.4$ Aa	$0.68 \pm 0.06$ Ba	$235.0 \pm 12.3$ Aab	$246 \pm 28.6$ Bca
	May	$0.05 \pm 0.01$ Ac	$0.06 \pm 0.02$ Ad	$87.1 \pm 13.4$ Ab	$0.71 \pm 0.06$ Ba	$120.9 \pm 12.3$ Bc	$101 \pm 28.6$ Bb
	Ago	$0.09 \pm 0.01$ Ab	$0.23 \pm 0.02$ Ab	$93.5 \pm 13.4$ Ab	$0.41 \pm 0.06$ Bb	$274.3 \pm 12.3$ Aa	$103 \pm 28.6$ ABb
	Nov	$0.14 \pm 0.01$ Aa	$0.31 \pm 0.02$ Aa	$151.7 \pm 13.4$ Aa	$0.46 \pm 0.06$ Bb	$221.5 \pm 12.3$ Ab	$223 \pm 28.6$ Aa
C	Feb	$0.07 \pm 0.01$ BCb	$0.07 \pm 0.01$ Bb	$105.5 \pm 10.7$ Ba	$0.77 \pm 0.04$ Ba	$240.6 \pm 5.1$ Aa	$351 \pm 28.3$ Ba
	May	$0.03 \pm 0.01$ Bc	$0.04 \pm 0.01$ ABb	$66.9 \pm 10.7$ Bb	$0.63 \pm 0.04$ Ba	$182.9 \pm 5.1$ Ab	$238 \pm 28.3$ Aab
	Ago	$0.08 \pm 0.01$ Ab	$0.20 \pm 0.01$ Aa	$75.0 \pm 10.7$ Ab	$0.68 \pm 0.04$ Aa	$223.3 \pm 5.1$ Ba	$110 \pm 28.3$ Ac
	Nov	$0.11 \pm 0.01$ Ba	$0.26 \pm 0.01$ BCa	$127.9 \pm 10.7$ Ba	$0.43 \pm 0.04$ Bb	$223.4 \pm 5.1$ Aa	$216 \pm 28.3$ Abc
P	Feb	$0.08 \pm 0.01$ Bab	$0.13 \pm 0.01$ Ac	$188.74 \pm 22.3$ Aa	$1.20 \pm 0.09$ Aa	$210.2 \pm 11.1$ Aa	$216 \pm 29.5$ Bca
	May	$0.03 \pm 0.01$ Bb	$0.03 \pm 0.01$ Bd	$90.4 \pm 22.3$ Ab	$1.00 \pm 0.09$ Aa	$132.2 \pm 11.1$ Bb	$199 \pm 29.5$ Aa
	Ago	$0.07 \pm 0.01$ Aab	$0.21 \pm 0.01$ Ab	$82.6 \pm 22.3$ Ab	$0.55 \pm 0.09$ Bb	$232.0 \pm 11.1$ Ba	$172 \pm 29.5$ Aa
	Nov	$0.10 \pm 0.01$ Ba	$0.29 \pm 0.01$ ABa	$145.1 \pm 22.3$ Ba	$0.38 \pm 0.09$ Bb	$215.5 \pm 11.1$ ABa	$191 \pm 29.5$ Aa
M	Feb	$0.05 \pm 0.01$ Cb	$0.04 \pm 0.01$ Bc	$104.5 \pm 6.4$ Ba	$1.20 \pm 0.10$ Aa	$221.8 \pm 4.4$ Aa	$374 \pm 30.3$ Aa
	May	$0.04 \pm 0.01$ Ab	$0.02 \pm 0.01$ Bd	$39.4 \pm 6.4$ Bb	$1.10 \pm 0.10$ Aa	$157.3 \pm 4.4$ Ab	$228 \pm 30.3$ Ab
	Ago	$0.05 \pm 0.01$ Bb	$0.22 \pm 0.01$ Ab	$35.1 \pm 6.4$ Bb	$0.68 \pm 0.10$ Ab	$223.3 \pm 4.4$ Ba	$147 \pm 30.3$ Ab
	Nov	$0.08 \pm 0.01$ Ca	$0.24 \pm 0.01$ Ca	$112.0 \pm 6.4$ Ba	$0.70 \pm 0.10$ Ab	$220.7 \pm 4.4$ Aa	$191 \pm 30.3$ Ab

ZM: Zona de muestreo. ♦ ZM: Sampling zone.

Valores con letras diferentes indican diferencia significativa, prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) Letras mayúsculas representan comparación entre sitios de muestreo. ♦ Values with different letters indicate significant difference, Tukey test ( $\alpha=0.05$ ). Uppercase letters represent comparison between sampling sites.

Letras minúsculas comparación entre muestreos. ♦ Lowercase letters show comparison between samples.

mes de febrero la actividad fue alta. Posteriormente, en las de mayo y agosto se observó decremento de la actividad; finalmente, en las de noviembre se incrementó.

De forma general se puede decir que la actividad promedio de fosfatasa ácida y de fosfatasa básica del suelo de B fue 26 %, 28 % y 44 % mayor para las primeras, y 22 %, 10 %, y 29 % mayor para las segundas que en los suelos de C, P y M, respectivamente. De igual forma, la actividad promedio de esterasa en el suelo del B fue 38 % y 72 % mayor que en los de C y M, y fue similar a la de P.

Por otra parte, se encontró que la actividad promedio de invertasa y de b-glucosidasa en el suelo del B fue 10 %, 28 % y 39 % menor para las primeras, y 26 %, 13 % y 28 % menor para las segundas, que en los suelos de C, P y M.

No se encontraron diferencias en la actividad promedio de proteasa.

### Glomalina total y glomalinas fácilmente extraíble

Conforme transcurrió el tiempo del estudio, tanto el contenido de glomalinas totales como de glomalinas fácilmente extraíbles se incrementó en todos los suelos analizados. De esta forma, la cantidad de glomalina total se incrementó 3.3, 6.5, 4.3 y 5.2 veces, mientras que la cantidad de glomalina fácilmente extraíble se incrementó 3.8, 10.0, 3.4 y 10.7 veces en los suelos de B, C, P y M, respectivamente (Cuadro 4). El suelo de M tuvo tanto la mayor cantidad de glomalina total como de glomalina fácilmente extraíble (Cuadro 4). La menor cantidad promedio tanto de glomalina total como de glomalina fácilmente extraíble se encontró en los suelos de C.

### IDS

En concordancia con el procedimiento establecido, en el Cuadro 5 se muestran los rangos para cada variable y mes de muestreo, tomando como base los valores de cada una en el suelo del B y la desviación estándar global. El rango de desviaciones estándar donde todos los valores de las variables se encuentran fue de -9 a 9. Las de mayor amplitud fueron la concentración de nitratos (nueve desviaciones estándar) y la actividad de proteasa (siete desviaciones estándar). Las de menor amplitud fueron nitrógeno total

the sample from the month of February the activity was high. Later, in those from May and August a decrease in the activity was observed; finally, in those from November it increased.

In a general way, it can be said that the average activity of acid phosphatase and basic phosphatase of the F soil was 26 %, 28 % and 44 % higher for the first, and 22 %, 10 %, and 29 % higher for the second in the C, P and M soils, respectively. Likewise, the average activity of esterase in the F soil was 38 % and 72 % higher than in the C and M soils, and similar to that in P.

On the other hand, it was found that the average activity of invertase and of b-glucosidase in the F soil was 10 %, 28 % and 39 % lower for the first, and 26%, 13 % and 28 % lower for the second, than in the C, P and M soils.

**Cuadro 4.** Concentración de glomalina total (GT) y glomalina fácilmente extraíble (GFE) en los suelos del polígono Ovando II de la reserva de la Biósfera “El Triunfo”, Chiapas.

**Table 4.** Concentration of total glomalin (GT) and easily extractable glomalin (GFE) in the soils of Ovando II polygon of the “El Triunfo” Biosphere Reserve, Chiapas.

		GT	GFE
Bosque	Febrero	9.0±1.5Ac	4.4±0.9Ac
	Mayo	17.8±0.9 Ab	9.3±1.5 Bab
	Agosto	17.0±0.9 Bb	15.5±1.5 Ba
	Noviembre	29.9±1.5 Ba	19.1±0.9 Aba
Café	Febrero	4.6±1.3 Cc	1.6±1.4 Bc
	Mayo	9.2±1.4 Cb	7.0±1.3 Bc
	Agosto	14.5±1.3 Bb	13.0±1.4 Bab
	Noviembre	29.7±1.3 Ba	16.0±1.4 Ba
Potrero	Febrero	7.0±1.1 Bc	5.4±0.7 Ac
	Mayo	15.0±0.7 Bc	13.0±0.7 Ab
	Agosto	20.3±1.1 Ab	18.4±0.7 Aa
	Noviembre	30.1±1.1 Ba	18.2±0.7 Aba
Milpa	Febrero	6.9±1.1 Bc	2.0±1.3 Bc
	Mayo	11.4±1.3 Cb	9.4±1.3 Bb
	Agosto	19.3±1.3 Aa	17.3±1.3 Aa
	Noviembre	35.6±1.1 Aa	21.4±1.3 Aa

Valores con letras diferentes indican diferencia significativa, Tukey ( $\alpha=0.05$ ). ♦ Values with different letters indicate significant difference, Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Letras mayúsculas representan comparación entre sitios de muestreo. ♦ Uppercase letters represent comparison between sample sites.

Letras minúsculas comparación entre muestreos. ♦ Lowercase letters comparison between samples.



**Cuadro 5.** Rango de cada una de las variables determinadas en el suelo del bosque. Los valores base (DE=0) fueron determinados analíticamente durante los meses de muestreos. Los rangos se establecieron en función de la desviación estándar promedio (entre paréntesis). La columna DE es la cantidad de la desviación estándar.

**Table 5.** Range of each of the variables determined in the forest soil. The base values (SD = 0) were determined analytically during the sampling months. The ranges were established in function of the average standard deviation (in parenthesis). The SD column is the amount of standard deviation.

DE	pH ( $\pm 0.18$ )					Nitratos ( $\text{mg kg}^{-1} \pm 4.41$ )						
	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
-9												
-8												
-7												
-6												
-5												
-4												
-3												
-2												
-1												
0												
0												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

**Cuadro 5.** Continuación. 1  
**Table 5.** Continued.

DE	Materia orgánica (% ±0.57)				Nitrógeno total (% ±0.03)			
	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
-4	2.46 - 3.03	2.32 - 2.89	2.32 - 2.89	2.34 - 2.91	0.15 - 0.18	0.09 - 0.12	0.04 - 0.07	0.11 - 0.14
-3	3.03 - 3.60	2.89 - 3.46	2.89 - 3.46	2.91 - 3.48	0.18 - 0.21	0.12 - 0.15	0.07 - 0.10	0.14 - 0.17
-2	3.60 - 4.17	3.46 - 4.03	3.46 - 4.03	3.48 - 4.05	0.21 - 0.24	0.15 - 0.18	0.10 - 0.13	0.17 - 0.20
-1	4.17 - 4.73	4.03 - 4.59	4.03 - 4.59	4.05 - 4.61	0.24 - 0.27	0.18 - 0.21	0.13 - 0.16	0.20 - 0.23
0	4.73 - 5.30	4.59 - 5.16	4.59 - 5.16	4.61 - 5.18	0.27 - 0.30	0.21 - 0.24	0.16 - 0.19	0.23 - 0.26
1	5.30 - 5.87	5.16 - 5.83	5.16 - 5.73	5.18 - 5.75	0.30 - 0.33	0.24 - 0.27	0.19 - 0.22	0.26 - 0.29
2					0.33 - 0.36	0.27 - 0.30	0.22 - 0.25	0.29 - 0.32
					Conductividad eléctrica (mS cm <sup>-1</sup> ±0.01)			
-5						0.00 - 0.01	0.02 - 0.03	
-4						0.01 - 0.02	0.03 - 0.04	0.0 - 0.01
-3						0.02 - 0.03	0.04 - 0.05	0.01 - 0.02
-2	0.05 - 0.07	0.03 - 0.05				0.03 - 0.04	0.05 - 0.06	0.02 - 0.03
-1	0.07 - 0.09	0.05 - 0.07			0.00 - 0.01	0.04 - 0.05	0.06 - 0.07	0.03 - 0.04
0	0.09 - 0.11	0.07 - 0.09	0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.01 - 0.02	0.05 - 0.06	0.07 - 0.08	0.04 - 0.05
0	0.11 - 0.13	0.09 - 0.11	0.03 - 0.05	0.03 - 0.05	0.02 - 0.03	0.06 - 0.07	0.08 - 0.09	0.05 - 0.06
1	0.13 - 0.15	0.11 - 0.13	0.05 - 0.07	0.05 - 0.07				
2	0.15 - 0.17	0.13 - 0.15	0.07 - 0.09	0.07 - 0.09				
3	0.17 - 0.19	0.15 - 0.17	0.09 - 0.11	0.09 - 0.11				
4	0.19 - 0.21	0.19 - 0.21	0.11 - 0.13	0.11 - 0.13				
5	0.21 - 0.23	0.21 - 0.23	0.13 - 0.15	0.13 - 0.15				
					Amonio (mg kg <sup>-1</sup> ±0.02)			





y glomalinas fácilmente extraíbles (tres desviaciones estándar).

Tomando como base los valores del Cuadro 5 se construyó el Cuadro 6 donde los valores reales de cada variable de los suelos de C, P y M fueron codificados como cantidad de desviaciones estándar. Después de eliminar el signo negativo de las variables que así lo requirieron se determinó el valor promedio de la variable y con todas ellas se construyó el Cuadro 7. El valor marcado como IDS se obtuvo después de dividir la suma algebraica del valor de todas las variables en un suelo entre el número de variables (en este caso 14 variables). Los resultados muestran que el suelo de M tuvo el mayor valor de IDS, lo que indica mayor deterioro. El deterioro de dicho suelo fue 1.59 y 1.33 veces mayor que el suelo de P y C, respectivamente.

El análisis discriminante de la matriz de desviación estándar (Figura 2) mostró concordancia con el análisis previamente realizado, es decir, el suelo de la M está más alejado del suelo control (suelo del B)

No differences were found in the average activity of protease.

### Total glomalin and easily extractable glomalins

As the study time passed, both the content of total glomalins and those of easily extractable glomalins increased in all the soils analyzed. Therefore, the amount of total glomalin increased 3.3, 6.5, 4.3 and 5.2 times, while the amount of easily extractable glomalin increased 3.8, 10.0, 3.4 and 10.7 times in the F, C, P and M soils, respectively (Table 4). The M soil had the highest amount of total glomalin and of easily extractable glomalin (Table 4). The lowest average amount both of total glomalin and of easily extractable glomalin was found in the C soils.

### SDI

In agreement with the procedure established, Table 5 shows the ranges for each variable and the

**Cuadro 6.** Matrices codificadas de los valores reales de las variables de los suelos de café (C), potrero (P) y milpa (M) construidas, tomando como base el número de desviaciones estándar promedio respecto al valor de la misma variable en los suelos de bosque (B).

**Table 6.** Codified matrices of the real values of variables in coffee plantation (C), pasture (P), and milpa (M) soils, built based on the average number of standard deviations compared to the value of the same variable in forest soils (B, for initial in Spanish).

	pH				Conductividad eléctrica				Materia orgánica				Nitratos			
	B	C	P	M	B	C	P	M	B	C	P	M	B	C	P	M
Febrero	0	-1	4	4	0	0	-1	-1	0	-2	0	-3	0	1	-2	-3
Mayo	0	0	5	4	0	-1	-3	-5	0	-2	-1	-3	0	3	-1	-4
Agosto	0	-1	9	4	0	-1	-6	-7	0	-2	0	-3	0	7	-5	0
Noviembre	0	-1	4	2	0	-1	-4	-1	0	-1	0	-3	0	-9	-2	-8
	Amonio				Nitrógeno total				Fosfatasas ácida				Fosfatasas básica			
Febrero	0	5	-1	0	0	-2	-1	-3	0	-4	-3	-6	0	-6	0	-9
Mayo	0	1	-1	0	0	2	0	-2	0	-2	-2	-1	0	-2	-3	-4
Agosto	0	2	0	0	0	-2	0	-1	0	-1	-2	-4	0	-3	-2	-1
Noviembre	0	1	1	0	0	-2	1	-2	0	-3	-4	-6	0	-5	-2	-7
	Esterasas				Invertasas				Proteasas				β-glucosidas			
Febrero	0	-6	0	-6	0	1	7	7	0	0	-2	-1	0	3	0	4
Mayo	0	-1	0	-3	0	0	4	5	0	7	1	4	0	4	3	4
Agosto	0	-1	0	-4	0	3	2	3	0	-6	-5	-6	0	0	2	1
Noviembre	0	-1	0	-3	0	0	-1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Glomalina total				Glomalina Fácilmente extraíble											
Febrero	0	-3	-1	-1	0	-2	0	-2								
Mayo	0	-7	-2	-4	0	-2	3	0								
Agosto	0	-1	2	1	0	-2	2	1								
Noviembre	0	0	0	4	0	-2	0	2								

**Cuadro 7.** Desviación estándar promedio y normalizada para cada una de las variables en los distintos tipos de suelo empleados en este estudio. El IDS se obtuvo al dividir la suma entre 14.

**Table 7.** Average and normalized standard deviation for each of the variables in the different types of soil used in this study. The SDI was obtained when dividing the sum by 14.

	B	C	P	M
pH	0.00	0.75	5.50	3.50
CE	0.00	0.75	3.50	3.50
MO	0.00	1.75	0.25	3.00
NO	0.00	5.00	2.50	3.75
NH <sub>4</sub>	0.00	2.25	0.75	0.00
NT	0.00	2.00	0.50	2.00
FA	0.00	2.50	2.75	4.25
FB	0.00	4.00	1.75	5.25
Est	0.00	2.25	0.00	4.00
Inv	0.00	1.00	3.50	4.50
Prot	0.00	3.25	2.00	2.75
b-Glu	0.00	1.75	1.25	2.25
GT	0.00	2.75	1.25	2.50
GFE	0.00	2.00	1.25	1.25
Suma	0.00	32.00	26.75	42.50
IDS	0.00	2.29	1.91	3.04

y los suelos del C y la P ocuparon lugares separados uno de otro.

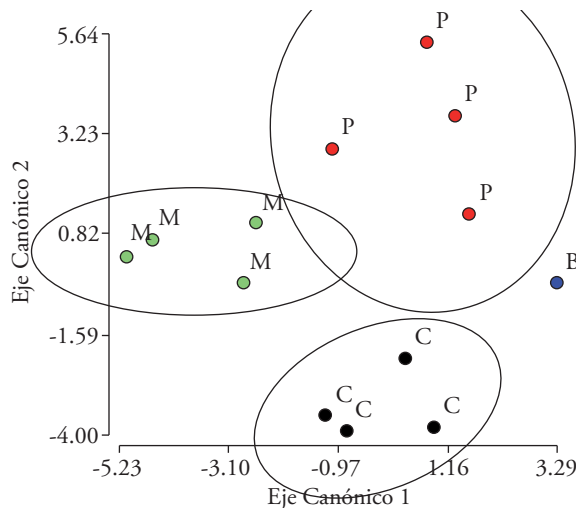
### DISCUSIÓN

El impacto de la actividad antropogénica en las características físicas, químicas y biológicas del suelo han sido publicados en diversos trabajos (Robles *et al.*, 2010; Morales *et al.*, 2008; Ramos y Zuñiga, 2008; De la Paz-Jiménez *et al.*, 2002; Contreras *et al.*, 2004.; Balota *et al.*, 2003; España *et al.*, 2002). Todos ellos muestran que las variables analizadas en los suelos con actividad antropogénica fueron diferentes respecto al suelo control (normalmente un suelo no perturbado). Lo anterior solo ha permitido establecer fehacientemente que conforme se incrementa la intensidad de la actividad antropogénica, el contenido de MO del suelo disminuye, aseveración que no puede extenderse a variables del suelo diferentes de la MO, ya que el valor de estas parece una función compleja dependiente de las diversas actividades antropogénicas.

Considerando lo anterior, las diferenciales observadas en los valores de las variables analizadas en este trabajo (Cuadros 2, 3 y 4) en los suelos de B, C, P y

sampling month, based on the values for each in the F soil and the global standard deviation. The range of standard deviations where all the values of the variables found was -9 to 9. Those of greatest amplitude were nitrate concentration (nine standard deviations) and protease activity (seven standard deviation). Those of lowest amplitude were total nitrogen and easily extractable glomalins (three standard deviations).

Table 6 was built on the basis of the values in Table 5. In Table 6 the real values of each variable of the C, P and M soils were codified as number of standard deviations. After eliminating the negative sign of the variables that required it, the average value of the variable was determined, and Table 7 was built with all of these. The value marked as SDI was obtained after dividing the algebraic sum of the value of all variables in a soil by the number of variables (in this case 14 variables). The results show that the M soil had the highest value of SDI, which indicates higher deterioration. The deterioration of that soil was 1.59 and 1.33 times greater than the soil of P and C, respectively.



**Figura 2.** Centroides de agrupamiento generados por el análisis discriminante de los valores de desviación estándar de las distintas variables de los suelos estudiados. Los contornos fueron generados por el programa estadístico. B: bosque, C: cafetal, P: pastizal, M: Milpa.

**Figure 2.** Grouping centroids generated by the discriminant analysis of the values of standard deviation of the different variables of the soils studied. The contours were generated by the statistical program. B: forest, C: coffee plantation, P: pasture, M: milpa.

M son, indudablemente, resultantes de la actividad antropogénica a la que están sujetos. En este sentido, las variaciones observadas en el suelo de B, donde la actividad humana prácticamente está ausente, fueron inducidas exclusivamente por el ambiente (dinámica natural).

En el extremo opuesto se ubican los suelos de M, donde además de la ausencia de cobertura forestal es práctica común la quema del residuo del cultivo (normalmente maíz), el empleo de fertilizantes químicos y el laboreo durante la época de estío (noviembre-abril) (Barrientos *et al.*, 2009). Por su parte, los suelos de P son escasos en cobertura forestal, sujetos a compactación por el paso constante de los animales que se alimentan de la cubierta vegetal (preponderantemente pasto), sujetos a fertilización orgánica no controlada (deyecciones de los animales) y química, y con cubierta de pasto y hierbas prácticamente perenne. Asimismo, las necesidades de sombra del cultivo de café obligan a que la cubierta forestal del suelo sea mayor respecto al suelo de P, aunque es menor respecto al suelo de B, está sujeta a fertilización química, se aplica control de la broca del café y se “limpia” de hierbas indeseables.

Por lo complejo de la relación entre variable dependiente y efectoras, en la literatura científica está ausente el índice de degradación del suelo. Aunque algunos autores han propuesto el término “indicador de impacto” (Marinari *et al.*, 2006; Abril, 2003; Carter, 2002; Reynolds *et al.*, 2002), en el fondo se refieren exclusivamente al incremento o decremento de los valores de las variables.

El procedimiento sugerido en este trabajo permite obtener un valor adimensional que no depende de qué tanto es “mayor” o “menor” el valor de las variables estudiadas, sino que dichos valores se transforman en función de la desviación estándar global de cada una de ellas. Este paso permite normalizar su valor. Asimismo, resulta que entre más variables analizadas se tengan, mayor será el “impacto” de las variables y su suma algebraica será mayor. Por lo anterior, resulta clave la propuesta de que la suma se divida entre el número de variables y que al cociente resultante se le nombre IDS. Los valores de IDS obtenidos en este trabajo mostraron correspondencia con el grado e intensidad de actividad antropogénica, es decir, el valor más grande (3.04) se obtuvo para el suelo de M que lo coloca, de acuerdo con la escala propuesta, como un suelo de alta degradación. Como

The discriminant analysis of the standard deviation matrix (Figure 2) showed agreement with the analysis previously performed; that is, the M soil is farther from the control soil (F soil) and the C and P soils occupied separate places from one another.

## DISCUSSION

The impact of anthropogenic activity on the physical, chemical and biological characteristics of the soil have been published in various studies (Robles *et al.*, 2010; Morales *et al.*, 2008; Ramos and Zuñiga, 2008; De la Paz-Jiménez *et al.*, 2002; Contreras *et al.*, 2004.; Balota *et al.*, 2003; España *et al.*, 2002). All of them show that the variables analyzed in the soils with anthropogenic activity were different compared to the control soil (normally an undisturbed soil). This has only allowed to establish indubitably that as the intensity of the anthropogenic activity increases, the OM content in the soil decreases, claim that cannot be extended to soil variables other than OM, since their value seems to be a complex function that depends on the various anthropogenic activities.

Taking this into consideration, the differences observed in the values of variables analyzed in this study (Tables 2, 3 and 4) in the F, C, P and M soils are, undoubtedly, the result of anthropogenic activities which they are subjected to. In this sense, the variations observed in the F soil, where human activity is practically absent, were induced exclusively by the environment (natural dynamics).

M soils are found on the opposite end, where in addition to the absence of forest cover, burning of the crop residue (normally maize) is a common practice, as well as using chemical fertilizers, and tilling during the time of drought (November-April) (Barrientos *et al.*, 2009). In their part, P soils have scarce forest coverage, are subject to compacting due to the constant passage of animals that feed off the plant cover (predominantly grass), are subject to uncontrolled organic (animal defecations) and chemical fertilization, and have a practically permanent cover of grass and herbs. Likewise, the needs for shade of the coffee crop force the forest cover of the soil to be greater compared to the P soil, although it is lower compared to the F soil, is subject to chemical fertilization, control of the coffee borer beetle is applied, and it is “cleared” of unwanted weeds.

Because of the complex nature of the relationship between dependent and effecting variables, the

el IDS del suelo de M se ubicó en el límite inferior de la escala es susceptible de ser recuperable, por lo que habrá de aplicar las acciones correctivas necesarias (biofertilización, reforestación, uso de leguminosas, entre otras) y evitar que llegue a valores de IDS superiores.

Por las condiciones bajo las que se desarrolla la ca-ficultura se pensó que el suelo de esta sección debiera tener menor nivel de deterioro que el de P; sin embargo, el valor de IDS fue mayor que en esta última (ubica a dicho suelo en la categoría de degradación media). Este resultado se debe a que el suelo de C constantemente es “limpiado” de plantas indeseables, se emplean fertilizantes químicos, se extraen distintos productos (madera) y la erosión del suelo, puesto que la actividad se realiza en suelos con pendiente. Asimismo, el hecho de que el suelo de P se ubique en la categoría de degradación baja se debe a que son suelos planos que constantemente son biofertilizados y mantienen una cubierta vegetal.

Dado que en este trabajo se emplearon tanto variables químicas como biológicas y que los valores de IDS no permiten distinguir entre el deterioro físico-químico del biológico, con el procedimiento propuesto se calculó el “IDS físico-químico” ( $IDS_{FQ}$ ) y el “IDS biológico” ( $IDS_B$ ) para los suelos estudiados. Se encontró que el  $IDS_{FQ}$  en los suelos de C, P y M tuvo valores de 2.08, 2.17 y 2.63, respectivamente. Por su parte, el  $IDS_B$  alcanzó valores de 2.44, 1.72 y 3.34 para los mismos suelos. Lo que se puede deducir de lo anterior es que es mayor la degradación biológica de los suelos, lo que coincide con las propuestas de abril (2003) de que lo biológico es un indicador más adecuado para determinar el nivel de degradación del suelo. Con el  $IDS_B$  se acentúa más la diferencia entre el suelo de C y P, y se incrementa el nivel de degradación del suelo de M. El menor valor encontrado en el de P se puede interpretar como respuesta a la constante introducción de microbiota a través de las deyecciones de los animales que pastan y a la cubierta constante del suelo. El valor encontrado en el suelo de M lo vuelve a ubicar como de alta degradación, resultado debido a la quema, el barbecho y la “desnudez” del suelo. El hecho de que el  $IDS_{FQ}$  de todos los suelos los ubique como de mediana degradación refuerza el concepto de que las variables físico-químicas son menos sensibles a los cambios, como previamente se ha propuesto (Marinari *et al.*, 2006).

soil degradation index is absent in the scientific literature. Although some authors have proposed the term “impact indicator” (Marinari *et al.*, 2006; Abril, 2003; Carter, 2002; Reynolds *et al.*, 2002), in the end they refer exclusively to the increase or decrease of the values of variables.

The procedure suggested in this study allows obtaining an adimensional value that does not depend on how much “higher” or “lower” the value of the variables studied is, but rather that these values are transformed in function of the global standard deviation of each of them. This step allows normalizing its value. Likewise, it turns out that the more variables analyzed there are, the higher the “impact” of the variables and their algebraic sum will be higher. Because of this, the proposal to divide the sum by the number of variables and to name the resulting quotient SDI, is key. The SDI values obtained in this study showed correspondence with the degree and intensity of anthropogenic activity, that is, the highest value (3.04) was obtained for the M soil, placing it, according to the scale proposed, as a soil of high degradation. Since the SDI of the M soil was found in the lower limit of the scale, it is susceptible to being recoverable, which is why the necessary corrective actions should be applied (biofertilization, reforestation, use of legumes, among others), to avoid it reaching higher SDI values.

Due to the conditions under which coffee growing is developed, it was thought that soils in this section would have lower deterioration level than the P soils; however, the SDI value higher than in the latter (placing this soil in the category of middle degradation). This result is because the C soil is constantly “cleared” of unwanted plants, chemical fertilizers are used, different products (wood) are extracted, and there is soil erosion, since the activity is carried out in soils with a slope. Likewise, the fact that P soils are found in the category of low degradation is because they are flat soils that are constantly biofertilized and maintain a plant cover.

Given that in this study both chemical and biological variables were used, and that the SDI values do not allow distinguishing between the physical-chemical and the biological deterioration, with the procedure proposed, the “physical-chemical SDI” ( $IDS_{FQ}$ ) and the “biological SDI” ( $IDS_B$ ) were calculated for the soils studied. It was found that  $IDS_{FQ}$  in the C, P and M soils had values of 2.08,



## CONCLUSIONES

Los valores de las variables químicas y biológicas de suelos usados para potrero, milpa y cafetal (con manejo humano) de la sección Ovando II en la Reserva de la Biosfera “El Triunfo”, ubicada en Chiapas, México, difirieron estadísticamente de los valores de suelo del bosque de la misma sección.

Aunque las diferencias en los valores de las variables entre los suelos con manejo humano y el del bosque orientan a deducir que la actividad antropogénica los afectó; dicha diferencia no permite emitir juicio sobre el nivel de afección.

Por lo anterior, se propone un método para establecer el Índice de Degradación del Suelo (IDS).

El método aplicado y la escala propuesta para determinar el IDS permitió ubicar al suelo de M en el nivel alto y a los suelos de C y P en el nivel medio.

Los valores absolutos de las variables determinadas en el suelo de diferentes usos del Polígono Ovando II de la reserva de la Biosfera “El Triunfo” Chiapas orientan a decir que las actividades antropogénicas desarrolladas en ellos los impactaron negativamente, siendo el arreglo  $M > C > P > B$ .

El método aplicado y la escala propuesta permitieron determinar que las variables de actividad biológica reflejan mejor las diferentes formas e intensidades de actividad antropogénica realizadas sobre el suelo.

## LITERATURA CITADA

- Abril, A. 2003. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas?. *Ecología Austral* 13:195-204.
- Acosta, Y., y Paolini, J. 2005. Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos. *Agronomía Tropical* 55(2): 217-232.
- Alvear, M., Pino M., Castillo C., Trasar-Cepeda C., y Gil-Sotres F. 2006. Efecto de la cero labranza sobre algunas actividades biológicas en un alfisol del sur de Chile. *Revista Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6: 38-53.
- Alvear, M., Urra C., Huaiquilao R., Astorga M., y Reyes F. 2007. Actividades biológicas y estabilidad de agregados en un suelo del bosque templado Chileno bajo dos etapas sucesionales y cambios estacionales. *Revista Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 7(3): 38-50.
- Arango, G. 2005. Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 58 (1):, 2733-2740,
- Balota, E., Colozzi-Filho A., Andrade D., and Dick R. 2003. Microbial biomass in soil under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*. 38: 15-20.

2.17 and 2.63, respectively. In turn, the  $IDS_B$  reached values of 2.44, 1.72 and 3.34 for the same soils. What can be deduced from this is that the biological degradation of the soils is higher, which agrees with the proposals by Abril (2003) regarding the idea that biological indicators are more adequate to determine the level of soil degradation. With the  $IDS_B$  the difference between the C and P soils is accentuated, and the degradation level of the M soil increases. The lower value found in the P soil can be interpreted as a response to the constant introduction of microbiota through animal defecations that graze and to the constant cover of the soil. The value found in the M soil places it again as high degradation, result due to burning, plowing for sowing, and the “nakedness” of the soil. The fact that the  $IDS_{PQ}$  of all the soils places them as middle degradation reinforces the concept that the physical-chemical variables are less sensitive to those changes, as had been previously proposed (Marinari *et al.*, 2006).

## CONCLUSIONS

The values of the chemical and biological variables of soils used for pasture, milpa and coffee plantation (with human management) of the Ovando II section in the “El Truinfo” Biosphere Reserve, located in Chiapas, Mexico, differed statistically from the values of the forest soil in the same section.

Although the differences in the values of the variables between soils with human management and those from the forest allow deducing that anthropogenic activity affected them; such a difference does not allow judging the level of affectation.

Therefore, a method is proposed to establish the Soil Degradation Index (SDI).

The method applied and the scale proposed to determine the SDI allowed placing the M soil in the high level, and the C and P soils in the middle level.

The absolute values of the variables determined in the soil of different uses in the Ovando II polygon of the “El Truinfo” Biosphere Reserve, Chiapas, lead to stating that the anthropogenic activities developed in them impacted them negatively, with the order being  $M > C > P > B$ .

The method applied and the scale proposed allowed determining that the variables of biological activity reflect better the different forms and intensities of anthropogenic activity performed on the soil.

- Barrientos, D., Rouanet M., Parada C., y Pino N. 2009. Los microorganismos y la fertilidad biológica del suelo. Tierra Adentro. 48.
- Barroti, G. y Nahas N. 2003. El fósforo y el encalado sobre las fosfatasa y la producción de *Braquiaria ruziziensis* y *Cajanus cajan*. Agronomía Tropical. 53: 209-225.
- Brambilla, E., N. Kloster N., A Bono A., y J. Camiña J. 2013. Evaluación de métodos para determinar nitrato en suelo. Ciencia del Suelo (Argentina). 31(2): 245-252,
- Broquen, P., Falbo G., Pellegrini V., Candan F. y Girardin J. 2003. Relaciones entre las forestaciones, la erosión del suelo y la potencialidad productiva en la transición bosque-estepa (Andinopataonia, Argentina). Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 12(2): 99-110.
- Carter, M. 2002. Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation Interactions that maintain soil functions. Agronomy Journal. 94: 38-47.
- Cerón L. E., y Melgarejo L. M. 2005. Enzimas del suelo: Indicadores de salud y calidad. Acta Biológica Colombiana. 10(1): 5-18.
- Contreras, F., Paolini J., y Rivero C. 2004. El uso de enmiendas orgánicas y su efecto sobre la actividad de las enzimas de deshidrogenasa y mineralización del carbono en suelos. Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay). 30: 95-107.
- Coughlan, M. P. 1985. Cellulases, with comment on their production and application. Biotechnology and Genetic Engineering. 3:39-109.
- De la Paz-Jiménez, M., de la Horra A., Pruzzo L., and Palma M. 2002. Soil quality: a new index on microbiological and biochemical parameters. Biology and Fertility of Soils .35: 302-306.
- Defrieri, R. L., Effron D., Jimenez M. P., y Prause J. 2008. Influencia de especies forestales sobre la actividad de las enzimas fosfatasa ácida y proteasas en un suelo de bosque. Ciencia del Suelo. 26(2):177-182.
- Diario Oficial de la Federación. 2002a Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000; procedimiento 7.1.8. México. Diciembre 31 Segunda sección. 20-21.
- Diario Oficial de la Federación. 2002b. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000; procedimiento 7.1.2. México. Diciembre 31 Segunda sección. 12-13..
- España, B., Rodríguez E., Cabrera B., y Cecanti B. 2002. Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los Llanos Centrales, Venezuela. Terra Latinoamericana. 20:81-86.
- Freitas, V., A. Góis A., A.C. Vargas A.C., and S. Alves ST. 2015. Land use and changes in soil morphology and physical-chemical properties in southern Amazon. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 41:e0170034.
- González-Ocampo, H. A., Cortés-Calva, P., Íñiguez-Dávalos, L. y Ortega-Rubio, A. 2014. Las áreas naturales protegidas de México. Investigación y Ciencia. 60: 7-15.
- Hernández, A., Vera L., Naveda C.A., Guzmán Á. M., Vivar M., Zambrano T. R., Freddy Mesías F., Ormanza, K., León, R. V., y López G. A. 2017. Variación de algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabi, Ecuador. Cultivos Tropicales, 38(1): 50-56.
- Inbar, Y., and Boehm J. M. 1991. Hydrolysis of fluorescein diacetate in *Sphagnum peat* container media for predicting susceptibility to damping-off caused by *Pythium ultimum*. Soil Biology and Biochemistry. 23: 479-483.
- Knorr, M. A., Boerner R. E. J., and Rillig M. C. 2003. Glomalin content of forest soils in relation to fire frequency and landscape position. Mycorrhiza.13: 205-210.
- Kokalis-Burelle, N., Rodríguez-Kábana R., Weaver F. C. and King S. P. 1994. Evaluation of powdered pine bark for control of *Meloidogyne arenaria* and *Heterodera glycines* on soybean. Plant and Soil. 162: 169-175.
- Marinari, S., Mancinelli R., Campiglia E., and Grego S. 2006. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. Ecological Indicators. 6: 701-711.
- Mohawesh, Y., A. Taimeh A., and F. Ziadat F. 2015. Effects of land use changes and soil conservation intervention on soil properties as indicators for land degradation under a Mediterranean climate. Solid Earth, 6, 857-868.
- Morales, A., Castillo C., Rubio R., Godoy R., Rouanet J., y Borie F. 2008. Niveles de glomalina en suelos de dos ecosistemas del sur de Chile. Ecología Austral. 17:37-45.
- Nichols, K. A. and Wright S. F. 2005. Comparison of glomalina and humic acid in eight native US soils. Soil Science. 170: 985-997.
- Quintero, L., Ferrera-Cerrato D., y Etchevers B. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. Terra Latinoamericana. 21(1): 73-80.
- Ramos, E., y Zúñiga D. 2008. Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecología Aplicada. 7(1-2): 123-130.
- Reynolds, W. D., Bowman B. T., Drury C. F., Tana C. S., and Lu X. 2002. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. Geoderma. 110: 131-146.
- Robles, O., Grosso E., Zoppolo R., Lercari D. y Etchebehere C. 2010. Producción de tomate y dinámica microbiológica del suelo de invernáculo al aplicar vermicompostas. Avances en Investigación Agropecuaria.14(1):35-52.
- Sadzawka, A., Carrasco M. A., Grez R., Mora M. L., Flores H. y Neaman A. 2006. Métodos de análisis de suelos recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA No 34, Santiago, Chile, 164 p.
- Sánchez-Arias, J., Paolini P., y Rodríguez P. 2010. Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela. Biología Tropical. 58 (2): 547-564.
- Sardans, J., and Peñuelas J. 2005. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. Soil Biology & Biochemistry 37: 455-461.
- Tabatabai, M. A., and Bremner J. M. 1972. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry. 1: 301-307.

—End of the English version—



- Velázquez, A., Mas J. F., Díaz Gallegos J. R., Mayorga Saucedo R., Alcántara P. C., Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurrea E., y Palacio J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62: 21-37.
- Wright, S. F. and Upadhyaya A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalina, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 198:97-107.
- Zamora, F. J., Pastor M., y N. Rodríguez. 2005. Cambios en la biomasa microbiana y la actividad enzimática inducidos por la rotación de cultivos en un suelo bajo producción de hortalizas en el Estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias*. 5(1): 62-70.