

Environmental functions of smallholder farmer land classes in the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, Mexico

Funciones ambientales de las clases de tierras campesinas en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México

Cutzi Bedolla-Ochoa^{1,2*}; Francisco Bautista¹; Ángeles Gallegos³

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Antigua carretera a Pátzcuaro núm. 8701, col. Exhacienda de San José de la Huerta. C. P. 58190. Morelia, Michoacán, México.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. Avenida Juanito Itzicuario s/n, col. Nueva Esperanza. C. P. 58330. Morelia, Michoacán, México.

³Skiu (Scientific Knowledge in Use). Cascadas núm. 246, fracc. Campestre La Huerta. C. P. 58194. Morelia, Michoacán, México.

*Corresponding author: cutzibedolla@gmail.com, tel.: +52 (443) 327 2350 ext. 139.

Abstract

Introduction: There are few cases in which the environmental functions of soils have been quantitatively evaluated using data from soil profile descriptions.

Objective: The environmental functions of seven peasants land classes (Barrosa, Polvilla, Charanda, Tocura, Cementante, Polvilla/Barrosa and Polvilla/Charanda) in the Zicuirán-Infiernillo biosphere, Mexico, were evaluated in order to propose a more rational use of the soils.

Materials and methods: Soil & Environment[®] software was used to evaluate the soil function in the water cycle, food and biomass production, nutrient cycle, habitat for flora and fauna, habitat for human life and torrential rainfall infiltration.

Results and discussion: The Barrosa land class, distributed in the valley, has the most suitable environmental levels, followed by the Polvilla-Barrosa class with very high capacity in terms of torrential rainfall infiltration, and the Tocura and Polvilla-Charanda classes with high suitability in the same environmental function. Next is the Charanda class, suitable for the production of food and biomass and as a component of the nutrient cycle; finally, with more restricted suitability, in general terms, there is the Polvilla class that stands out as a flora and fauna habitat.

Conclusion: The Barrosa and Charanda land classes have the greatest potential as food and biomass producers, and as a component of the nutrient cycle; however, these classes correspond to the area with the largest human settlements, which could cause problems in the supply of agricultural and livestock products.

Keywords: soil profile; Barrosa class; Charanda class; soil suitability; soil functions.

Resumen

Introducción: Existen pocos casos en que las funciones ambientales de los suelos hayan sido evaluadas cuantitativamente utilizando datos de descripciones de perfiles de suelo.

Objetivo: Las funciones ambientales de siete clases de tierras campesinas (Barrosa, Polvilla, Charanda, Tocura, Cementante, Polvilla/Barrosa y Polvilla/Charanda) de la biosfera Zicuirán-Infiernillo, México, se evaluaron con el fin de proponer un uso más racional de los suelos.

Materiales y métodos: El software Soil & Environment[®] se utilizó para evaluar la función del suelo en el ciclo de agua, producción de alimento y biomasa, ciclo de nutrimentos, hábitat para flora y fauna, hábitat para la vida humana e infiltración en lluvias torrenciales.

Resultados y discusión: La clase de tierra Barrosa, distribuida en el valle, presenta los niveles ambientales más aptos, seguida de la clase Polvilla-Barrosa con muy alta capacidad en términos de infiltración de lluvias torrenciales, y de las clases Tocura y Polvilla-Charanda con aptitud alta en la misma función ambiental. Posteriormente se encuentra la clase Charanda, apta para la producción de alimentos y biomasa y como componente del ciclo de nutrimentos; finalmente, con aptitud más restringida, en términos generales, se encuentra la clase Polvilla que destaca como hábitat de flora y fauna.

Conclusión: Las clases de tierra Barrosa y Charanda son las de mayor potencial como productoras de alimento y biomasa, y como componente del ciclo de nutrientes; sin embargo, estas clases corresponden al área con mayores asentamientos humanos, lo cual podría ocasionar problemas de abasto de productos agrícolas y pecuarios.

Palabras clave: perfil del suelo; clase Barrosa; clase Charanda; aptitud del suelo; funciones del suelo.

Introduction

The importance of soils for sustaining human life has been recognized during the last half century by both national (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002) and international organizations (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1999, 2006, 2009). One of the strategies for protecting soil from degradation is by evaluating its environmental functions (Banwart et al., 2012; Bouma, 2009; Lehmann, 2006; Lehmann, David, & Stahr, 2008), which must be quantitatively defined through replicable procedures. Likewise, it is important to analyze these functions in terms of relative importance, which makes it possible to establish the particular level of capital and services in a specific social context, where the ultimate goal is to provide well-being to human beings and the environment (Bautista, Gallegos, & Álvarez, 2015; Blum, 2005; Lehmann et al., 2008).

Through different action plans or strategies, various authors have recognized and evaluated the following environmental, economic, social and cultural soil functions: filtration and regulation of heavy metals, as a component of the water cycle, food and biomass production, as a component of the nutrient cycle, habitat for flora, fauna and human life, transformation medium, natural and cultural archive, filtration and infiltration, and organic carbon fixation (Bautista et al., 2015; Bouma, 2009; Brady & Weil, 1999; Lehmann et al., 2008).

Lehmann et al. (2008) and Lehmann and Stahr (2010) developed models and software for evaluating soil functions based on data from soil profiles (TUSEC); however, the software is impractical and of limited use. Bautista, Gallegos, and Pacheco (2016) reviewed these evaluation models and designed a more functional software called Soil & Environment[®] that operates in two directions, as a database for recording information on soil profiles and for evaluating their functions, quantitatively, through interpretative models.

Knowledge of soil properties and characteristics is of great importance; appropriate crop selection and practices suitable for soil conservation depend on having this knowledge, thereby ensuring continuous soil use with minimum loss of quality. Much of this information is held by farmers, who have accumulated extensive knowledge about their natural environment over generations. In this way, based on the knowledge of farmers, suitable strategies can be designed and developed to achieve sustainable production systems. The use of smallholder farmer land classes is very useful as a means of communication at the local level (Bautista & Zinck, 2010) and of technology transfer (Nethononda & Odhiambo, 2011; Segura-Castruita et al., 2011).

Introducción

La importancia de los suelos para el sostén de la vida humana ha sido reconocida durante el último medio siglo por organizaciones nacionales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002) e internacionales (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1999, 2006, 2009). Una de las estrategias para proteger a los suelos de la degradación es la evaluación de sus funciones ambientales (Banwart et al., 2012; Bouma, 2009; Lehmann, 2006; Lehmann, David, & Stahr, 2008), las cuales deben ser definidas cuantitativamente a través de procedimientos replicables. Asimismo, es importante el análisis de estas funciones en términos de importancia relativa, que permita establecer el nivel particular del capital y servicios en un contexto social determinado, donde el objetivo final sea proporcionar bienestar a los seres humanos y el ambiente (Bautista, Gallegos, & Álvarez, 2015; Blum, 2005; Lehmann et al., 2008).

A través de diferentes planes de acción o estrategias, diversos autores han reconocido y evaluado las siguientes funciones ambientales, económicas, sociales y culturales del suelo: filtración y regulación de metales pesados, componente del ciclo de agua, producción de alimento y biomasa, componente del ciclo de nutrimentos, hábitat de flora y fauna, hábitat de la vida humana, transformación del medio, archivo natural y cultural, filtración e infiltración, y fijación de carbono orgánico (Bautista et al., 2015; Bouma, 2009; Brady & Weil, 1999; Lehmann et al., 2008).

Lehmann et al. (2008) y Lehmann y Stahr (2010) desarrollaron modelos y un *software* para la evaluación de las funciones de los suelos con base en perfiles (TUSEC); sin embargo, el *software* es poco práctico y de utilización restringida. Bautista, Gallegos, y Pacheco (2016) retomaron estos modelos de evaluación y diseñaron un *software* más funcional denominado Soil & Environment[®] que opera en dos direcciones, como base de datos para el registro de información de los perfiles de suelos y para evaluar sus funciones, cuantitativamente, a través de modelos interpretativos.

El conocimiento de las propiedades y características de los suelos reviste gran importancia; de ello depende que los cultivos y las prácticas a realizar sean adecuados para la conservación del suelo, asegurando su utilización continua con la mínima pérdida de calidad. Gran parte de esta información la poseen los campesinos, quienes han acumulado conocimiento amplio sobre su entorno natural durante generaciones. De esta manera, a partir del conocimiento de los agricultores y campesinos, se pueden diseñar y desarrollar estrategias aptas para lograr sistemas productivos sustentables. El uso de las clases de tierras campesinas es de gran utilidad como medio de comunicación a nivel local (Bautista & Zinck,

The Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve (ZIBR) has great geodiversity, expressed in geofoms, climatic types and subtypes, and soil groups. However, it is marked by land-use conflicts and threats, due to the migration of the rural population into the interior of the reserve to occupy new lands. Population growth and immigration cause conflicts that affect different aspects; on the one hand, the preservation of the environment, the protection of landscapes and the conservation of biodiversity and geodiversity and, on the other, the satisfaction of the basic needs of the population in this area. Therefore, it is necessary to offer alternatives to ensure the conservation and protection of the biodiversity, as well as the social and economic development of the community. The objective of this study is to evaluate the environmental functions of the soils in the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve (ZIBR), using the land classes identified by peasants.

Materials and methods

The study site comprises two zones belonging to the ZIBR, one a buffer area and the other an area of influence. The site is located in the municipality of La Huacana, Michoacán, Mexico, between coordinates 19° 0' 0" and 18° 52' 0" NL and 101° 56' 0" and 101° 42' 0" EL (Figure 1), with elevation levels ranging from 200 to 800 m. The climate is warm subhumid (Aw_0) with rain during the summer; the average annual rainfall is 655 mm and the average annual temperature is 28 °C (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2000).

2010) y de transferencia de tecnología (Nethononda & Odhiambo, 2011; Segura-Castruita et al., 2011).

La Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (RBZI) posee gran geodiversidad, expresada en geofomas, tipos y subtipos climáticos, y grupos de suelos. No obstante, presenta conflictos de uso de la tierra y amenazas, debido a que existe migración de la población rural hacia el interior de la reserva, para ocupar nuevos terrenos. El crecimiento demográfico y la inmigración causan conflictos que afectan diferentes aspectos; por un lado, la preservación del ambiente, la protección de los paisajes y la conservación de la biodiversidad y geodiversidad y, por el otro, la satisfacción de las necesidades básicas de la población en esta zona. Por lo anterior, es necesario ofrecer alternativas para garantizar la conservación y protección de la biodiversidad, así como el desarrollo social y económico de la comunidad. El presente estudio tiene como objetivo evaluar las funciones ambientales de los suelos en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo (RBZI), utilizando las clases de tierra identificadas por los campesinos.

Materiales y métodos

El sitio de estudio comprende dos zonas pertenecientes a la RBZI; una de amortiguamiento y una de influencia. El área se localiza en el municipio de La Huacana, Michoacán, México, entre las coordenadas 19° 0' 0" y 18° 52' 0" LN y 101° 56' 0" y 101° 42' 0" LE (Figura 1);

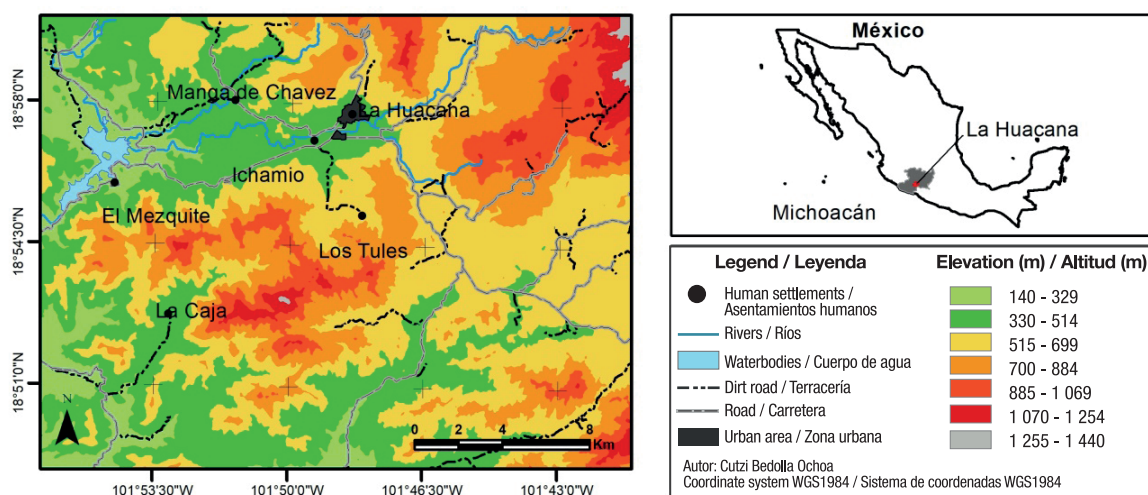


Figure 1. Location of the study area in the municipality of La Huacana, Michoacán, Mexico.

Figura 1. Localización de la zona de estudio en el municipio de La Huacana, Michoacán, México.

Technicians and producers jointly described 35 soil profiles of 1.5 m in depth or as far as the parent material allowed. The profiles corresponded to seven land classes: Barrosa, Polvilla, Charanda, Tocura, Cementante, Polvilla/Barrosa and Polvilla/Charanda. The main characteristics of the physical environment and the morphology of the soil profile were recorded based on the criteria established by Siebe, Janh, and Stahr (2006) and FAO (2009). The physical and chemical analyses carried out were bulk density, texture, wet and dry color, pH, organic matter, exchangeable cations (Ca, Mg, Na, K) and electrical conductivity (SEMARNAT, 2002).

Using the Soil & Environment® software, information on soil profiles was evaluated for the following environmental functions: the water cycle component, food and biomass production, nutrient cycle component, habitat for flora and fauna, habitat for human life and torrential rainfall filtration (Bautista et al., 2015; Gallegos, Bautista, & Dubrovin, 2016). The evaluations were interpreted based on five classes representing the capacity of soil functions: very high (5), high (4), medium (3), low (2) and very low (1).

A geopedological map was made that has the geoforms as a cartographic base and the land class associations as a legend (Zinck, Metternicht, Bocco, & Del Valle, 2016). The map, developed in ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2009, WGS 1984 datum, Universal Transverse of Mercator [UTM] projection), was used for mapping the environmental functions of the land classes.

Results and discussion

Environmental functions of the land classes

The physical and chemical properties of the soils by horizon (Figure 2) were transformed into measurements of the properties by profile (Table 1), which allowed a better understanding of the functioning of the soil in an integrated manner, enabling the evaluation of its environmental functions.

According to Table 2, the Barrosa land class, distributed in the valley, has the most suitable environmental levels, followed by the Polvilla-Barrosa class with very high capacity in terms of torrential rainfall infiltration and the Tocura and Polvilla-Charanda classes with high suitability in the same environmental function. Next is the Charanda class, suitable for food and biomass production and as a nutrient cycle component; finally, with more restricted suitability, in general terms, there is the Polvilla class that stands out as a habitat for flora and fauna.

The habitat for flora and fauna is a measure of the “naturalness” of the site because the degree of disturbance

presenta elevaciones de 200 a 800 m. El clima es cálido subhúmedo (Aw_0) con lluvia durante el verano; la precipitación media anual es 655 mm y la temperatura media anual es 28 °C (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2000).

Los técnicos y productores, de manera conjunta, describieron 35 perfiles de suelo de 1.5 m de profundidad o hasta donde el material parental lo permitió. Los perfiles correspondieron a siete clases de tierra: Barrosa, Polvilla, Charanda, Tocura, Cementante, Polvilla/Barrosa y Polvilla/Charanda. Las principales características del medio físico y la morfología del perfil del suelo se registraron con base en los criterios establecidos por Siebe, Janh, y Stahr (2006) y FAO (2009). Los análisis físicos y químicos realizados fueron densidad aparente, textura, color húmedo y seco, pH, materia orgánica, cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K) y conductividad eléctrica (SEMARNAT, 2002).

Mediante el software Soil & Environment®, la información de los perfiles de suelo se evaluó para las siguientes funciones ambientales: componente del ciclo de agua, producción de alimento y biomasa, componente del ciclo de nutrientes, hábitat para la flora y fauna, hábitat para la vida humana y filtración en lluvias torrenciales (Bautista et al., 2015; Gallegos, Bautista, & Dubrovin, 2016). Las evaluaciones se interpretaron con base en cinco clases que representan la capacidad de las funciones del suelo: muy alta (5), alta (4), media (3), baja (2) y muy baja (1).

Se realizó un mapa geomorfopedológico que tiene las geoformas como base cartográfica y las asociaciones de las clases de tierra como leyenda (Zinck, Metternicht, Bocco, & Del Valle, 2016). El mapa, elaborado en ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2009; datum WGS 1984, proyección Universal Transverse of Mercator [UTM]), se utilizó para la realización de los mapas de las funciones ambientales de las clases de tierra.

Resultados y discusión

Las funciones ambientales de las clases de tierra

Las propiedades físicas y químicas de los suelos por horizonte (Figura 2) se transformaron a mediciones de las propiedades por perfil (Cuadro 1), lo cual permitió una mejor comprensión del funcionamiento del suelo de manera integral, posibilitando la evaluación de sus funciones ambientales.

Acorde con el Cuadro 2, la clase de tierra Barrosa, distribuida en el valle, presenta los niveles ambientales más aptos, seguida de la clase Polvilla-Barrosa con muy alta capacidad en términos de infiltración de lluvias torrenciales y de las clases Tocura y Polvilla-Charanda



Figure 2. Profiles of the smallholder farmer land classes identified and classified according to farmer knowledge and IUSS Working Group WRB (2006) for soils of the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, Mexico.

Figura 2. Perfiles de las clases de tierras campesinas identificadas y clasificadas de acuerdo con el conocimiento campesino y IUSS Working Group WRB (2006) para suelos de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México.

Table 1. Properties of the soils by full profile in the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, Mexico.

Cuadro 1. Propiedades de los suelos por perfil completo en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México.

Profile key/ Clave del perfil	Land Use/ Uso del suelo	Depth (cm)/ Profundidad (cm)	FE (kg·m ⁻²)/ TF (kg·m ⁻²)	FC (L·m ⁻²)/ CC (L·m ⁻²)	CEC (mol·m ⁻²)/ CIC (mol·m ⁻²)	SOC (t·ha ⁻¹)/ COS (t·ha ⁻¹)	pH	OM/ MO
Polvilla/ Cobano-001	IG and SV/ PI y VS	29	150.8	35.58	40.48	16.12	7.6	1.3
Barrosa/P7	ENCR and LDF/ GEN y SBC	50	554.71	229.91	241.23	156.14	7.2	4.3
Cementante/0013	RA, LDF and MF/ AT, SBC y SM	135	1 675.5	305.81	163.48	108.05	7.6	1.1
Polvilla- Barrosa/P20	C	110	1 099.8	297.9	241.56	95.87	7.5	1.5
Polvilla- Charanda/0028	SV and EG/ VS y PE	124	710.72	165.8	37.58	73.89	5.1	2.1
Charanda/0033	RA, EG and SL/ AT, PE y TS	96	663.6	214.18	152.15	88.38	7.4	2.4
Tocura/0037	C and LDF/ C y SBC	110	1 344.9	334.97	204.18	210.59	8.3	2.4

FE = fine earth, FC = field capacity, CEC = cation exchange capacity, SOC = soil organic carbon, OM = organic matter. Land uses: IG = intensive grazing, ENCR = extensive nomadic cattle ranching, LDF = low deciduous forest, MF = medium forest, C = crops, RA = rainfed agriculture, EG = extensive grazing, SL = selective logging, SV = secondary vegetation.

TF = tierra fina, CC = capacidad de campo, CIC = capacidad de intercambio catiónico, COS = carbono orgánico del suelo, MO = materia orgánica. Usos del suelo: PI = pastoreo intensivo, GEN = ganadería extensiva nómada, SBC = selva baja caducifolia, SM = selva mediana, C = cultivos, AT = agricultura de temporal, PE = pastoreo extensivo, TS = tala selectiva, VS = vegetación secundaria.

is evaluated. In this sense, the Polvilla/Barrosa class exhibits favorable conditions as habitat for flora and fauna; it is also suitable as a water cycle component and for aquifer recharge. This land class is located in the altiplano; therefore, the most suitable function is as a conservation area. However, it is also reported as suitable for human life, a situation that would conflict with the environmental functions.

The environmental functions of the land classes and their current uses

The Polvilla/Charanda, Cementante and Charanda land classes are located in the plains (Table 2). The Polvilla/Charanda class with secondary vegetation is used for extensive semi-nomadic grazing; based on the evaluations, the ideal function is torrential rainfall infiltration. The Cementante class is used mainly in rainfed agriculture and is suggested as a rainfall infiltrator, food and biomass producer, and nutrient cycle component, while Charanda, with rainfed agriculture, extensive nomadic grazing and selective logging, presents qualities as a nutrient cycle component and for food and biomass production.

In the valley, the Barrosa class is located in low deciduous forest with extensive nomadic cattle ranching. This type of land has the suitability to be used as a means of producing food and biomass or as a nutrient cycle component; it is not desirable for it

con aptitud alta en la misma función ambiental. Posteriormente se encuentra la clase Charanda, apta para la producción de alimentos y biomasa y como componente del ciclo de nutrientes; finalmente, con aptitud más restringida, en términos generales, se encuentra la clase Polvilla que destaca como hábitat de flora y fauna.

El hábitat para la flora y fauna es una medida de la "naturalidad" del sitio, debido a que se evalúa el grado de perturbación. En este sentido, la clase Polvilla/Barrosa registra condiciones favorables como hábitat para la flora y la fauna; también es apta como componente del ciclo de agua y para la recarga de acuíferos. Esta clase de tierra se ubica en el altiplano, por tanto, la función más idónea es como área de conservación; sin embargo, también se reporta apta para la vida humana, situación que entraría en conflicto con las funciones ambientales.

Las funciones ambientales de las clases de tierra y los usos actuales

En las planicies se presentan las clases de tierra Polvilla/Charanda, Cementante y Charanda (Cuadro 2). La Polvilla/Charanda con vegetación secundaria se usa para pastoreo extensivo seminómada; con base en las evaluaciones, la función idónea es la infiltración de lluvias torrenciales. La clase Cementante se usa principalmente en agricultura de temporal y se sugiere

Table 2. Evaluation of the environmental functions of the soil profiles in the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, Mexico.

Cuadro 2. Evaluación de las funciones ambientales de los perfiles de suelo en la Reserva Zicuirán-Infiernillo, México.

Land classes / Clases de tierra	FB/A-B	NC/ Cic-Nu	WC/ Cic-Ag	FFH/ HFF	TRI/ Inf-II-t	HHL/ HVH	Suitability/ Aptitud	Suggested use/ Uso sugerido
Tocura (foothills)/(piedemonte)	2	2	4	3	4	1	16	Conservation/ Conservación
Barrosa (valley)/(valle)	5	5	3	2	2	1	18	Agriculture/ Agricultura
Polvilla/Barrosa (altiplano)/(altiplano)	2	1	3	3	5	3	17	Conservation/ Conservación
Polvilla (hill)/(colina)	1	2	1	5	1	1	11	Conservation/ Conservación
Cementante (plain)/(planicie)	3	3	3	1	4	1	15	Urbanism/ Urbanismo
Charanda (plain)/(planicie)	4	4	3	2	2	1	16	Agriculture/ Agricultura
Polvilla/Charanda (plain)/(planicie)	2	2	3	3	5	1	16	Urbanism/ Urbanismo

FB = food and biomass, NC = nutrient cycle, WC = water cycle, FFH = flora and fauna habitat, TRI = torrential rainfall infiltration, HHL = habitat for human life. Suitability classes: very high (5), high (4), medium (3), low (2) and very low (1).

A-B = alimentos y biomasa, Cic-Nu = ciclo de nutrientes, Cic-Ag = ciclo del agua, HFF = hábitat de flora y fauna, Inf-II-t = infiltración en lluvias torrenciales, HVH = hábitat para la vida humana. Clases de aptitud: muy alta (5), alta (4), media (3), baja (2) y muy baja (1).

to be used as habitat for human life because it would undermine the food supply and affect the water quality of the rivers, as is already seen today.

The Polvilla/Barrosa class dominates the high plateau and is currently used for the cultivation of pastures; this land use could be compatible with the infiltration capacity in torrential rains; on the plain, this class is suitable as habitat for human life.

In the hill areas, the Polvilla class is reported to have secondary vegetation and to be used for intensive cattle grazing. Based on the evaluation of soil functions, it is suggested that this type of land be used as a habitat for flora and fauna.

Finally, the Tocura land class, located in the foothills and used for pasture cultivation, could be used as a torrential rainfall infiltrator or as a water cycle component.

Land evaluation is “the process of assessment of land performance when used for specific purposes” (FAO, 1999), although it can also be “all the methods to explain or predict land-use potential” (De la Rosa, Mayol, Díaz-Pereira, Fernández, & De la Rosa, 2004.) A land assessment should consider the following factors: climate, soil, relief, market, technological level to apply and current land use. For each factor, an interpretative method and the assignment of ranges (suitable, moderately suitable, marginally suitable and unsuitable) are needed. In this sense, an analysis of the soil profile in relation to its environmental functions, carried out in a systematic and orderly way by means of software, is a contribution to the process of assessing its capacities.

Assessing the environmental functions of soils through Soil & Environment® adds to the diversity of interpretive soil models (FAO, 1999, 2009; Segura-Castruita, Sánchez-Guzmán, Ortiz-Solorio, & Gutiérrez-Castorena, 2005; United States Department of Agriculture [USDA], 2014). According to Bautista et al. (2016), the automation of interpretive soil methods using specialized software provides the following advantages: a) reduces errors in the capture of base information, b) avoids potential data loss, c) decreases data query time, d) avoids introducing errors in the application of evaluation techniques and e) improves the handling of information emanating from the evaluation.

The soil function map (Figure 3) represents a model of integration and interaction of some of the soil-forming factors. This proposed land-use model must be discussed among authorities, technicians and the productive and environmental sector.

compatible como infiltradora de lluvias, productora de alimento y biomasa, y como componente del ciclo de nutrimentos; mientras que Charanda, con agricultura de temporal, pastoreo extensivo nómada y tala selectiva, presenta cualidades como componente del ciclo de nutrimentos y para la producción de alimento y biomasa.

En el valle, la clase Barrosa se ubica en selva baja caducifolia con ganadería extensiva nómada. Esta clase de tierra posee la condición para aprovecharse como medio productor de alimento y biomasa o como componente del ciclo de nutrimentos; no es deseable que se utilice como hábitat de vida humana porque se atentaría contra el abastecimiento de alimentos y afectaría la calidad del agua de los ríos, como ya se observa en la actualidad.

En altiplanicie domina la Polvilla/Barrosa que actualmente se utiliza para el cultivo de pastos; este uso de la tierra podría resultar compatible con la capacidad de infiltración en lluvias torrenciales; en planicie, la clase es adecuada como hábitat para la vida humana.

En colina se reporta la Polvilla con vegetación secundaria y con uso para pastoreo intensivo de ganado. Con base en la evaluación de las funciones del suelo, se sugiere que dicha clase de tierra sea usada como hábitat para la flora y la fauna.

Finalmente, la clase de tierra Tocura, localizada en piedemonte y usada para el cultivo de pastos, podría ser utilizada como infiltradora en lluvias torrenciales o como componente del ciclo de agua.

La evaluación de tierras es “el proceso de evaluación del desempeño de las tierras cuando se usan para propósitos específicos” (FAO, 1999), aunque también puede ser “todos los métodos para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra” (De la Rosa, Mayol, Díaz-Pereira, Fernández, & De la Rosa, 2004). Una evaluación de tierras debe considerar los siguientes factores: clima, suelo, relieve, mercado, nivel tecnológico a aplicar y uso actual del terreno. Para cada factor es necesario un método interpretativo y la asignación de rangos (apto, medianamente apto, marginalmente apto y no apto). En este sentido, el análisis del perfil de suelo en relación con sus funciones ambientales, de manera sistemática y ordenada mediante un *software*, es un aporte al proceso de evaluación de sus aptitudes.

La evaluación de las funciones ambientales de los suelos mediante Soil & Environment® se suma a la diversidad de modelos interpretativos de suelos (FAO, 1999, 2009; Segura-Castruita, Sánchez-Guzmán, Ortiz-Solorio, & Gutiérrez-Castorena, 2005; United State Department of Agriculture [USDA], 2014). De

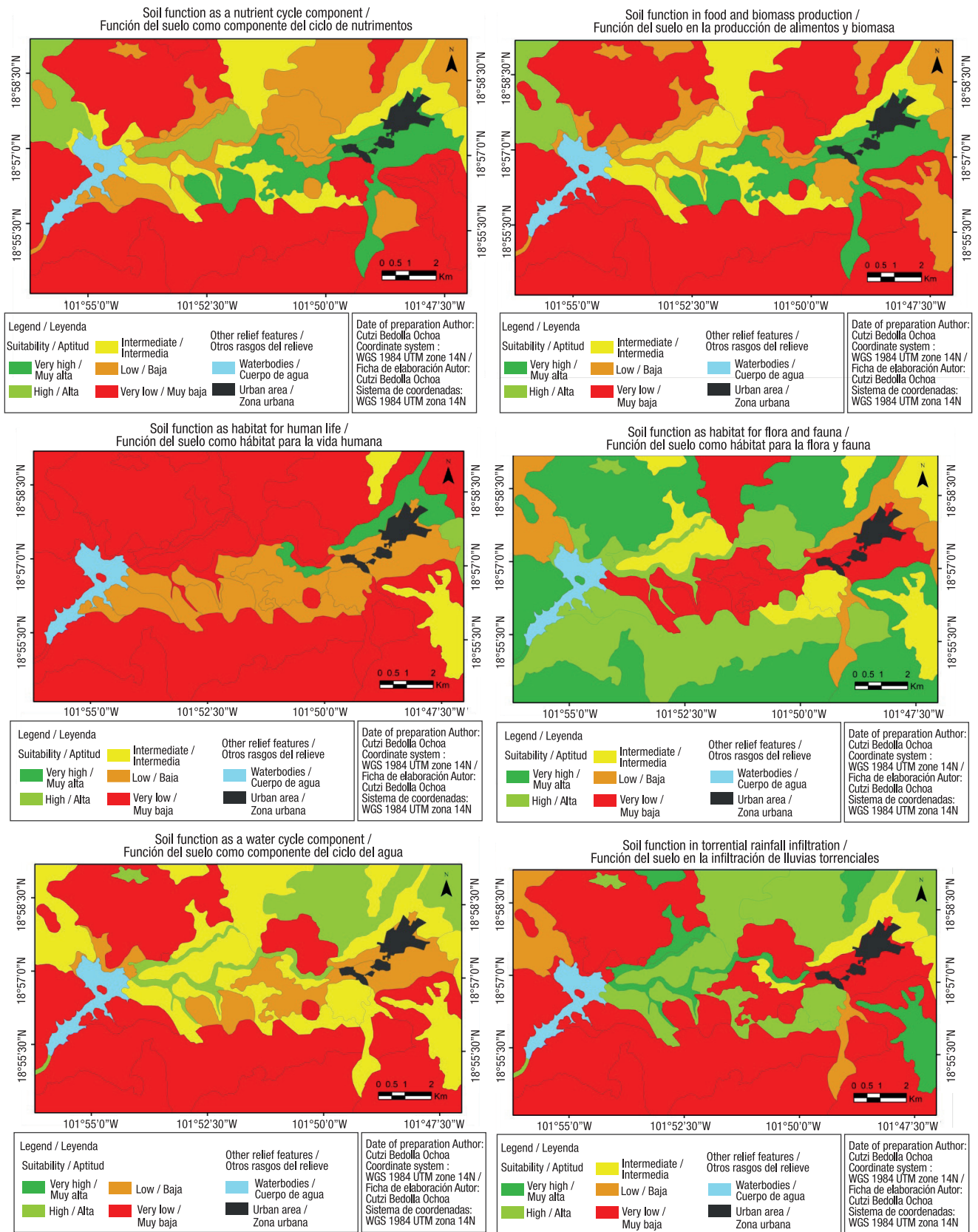


Figure 3. Suitability of land classes based on environmental functions, using Soil & Environment®, in soils of the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, Mexico.
Figura 3. Mejores aptitudes de las clases de tierras campesinas con base en la evaluación de las funciones ambientales, utilizando Soil & Environment®, en suelos de la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, México.

This study represents the first contribution in terms of evaluating soil functions carried out in Mexico. Similar to the conclusion formed by Liang, Lehmann, Wu, and Stahr (2014), evaluations aimed at an appropriate use of natural resources allow for a global understanding of the soil and provide references for the planning of its use.

Conclusions

In the Zicuirán-Infiernillo Biosphere Reserve, the Barrosa and Charanda land classes have the greatest potential in terms of their function as food and biomass producers, and as a component of the nutrient cycle. However, these classes correspond to the area with the largest human settlements; that is, they are located in fertile, flat, deep and more moist soils, a situation that could cause problems in the supply of agricultural and livestock products. Therefore, there is a need to form an effective evaluation and conservation mechanism to balance land uses, considering their best environmental suitability and functions. On the other hand, Soil & Environment® uses information on the climate and slope of the terrain or geofom for the estimation of some models; for this reason, the software requires the incorporation of climate and relief databases, as well as of the uses of the land and its proximity to roads and waterbodies.

Acknowledgments

The authors wish to thank the following: The Dirección General del Personal Académico of the Universidad Nacional Autónoma de México for funding the PAPIIT IN 223110 project; CONACYT for granting the doctoral fellowship of the first author; our farmer friends for carrying out the fieldwork; Manuel Mendoza for the advice provided for making the maps; Alma Barajas A. for support provided during fieldwork; and the Skiu company for providing us with the S & E software license.

End of English version

References / Referencias

- Bautista, F., Gallegos, T. A., & Álvarez, A. O. (2015). *La evaluación automatizada de las funciones ambientales del suelo con base en datos de perfiles*. México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from http://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/978-607-02-6600-3.pdf
- Bautista, F., Gallegos, A., & Pacheco, A. (2016). *Analysis of the environmental functions of soil profile data (Soil & Environment)*. México: Skiu. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/301221717_Analysis_of_the_environmental_functions_with_soil_profile_data_Soil_Environment

acuerdo con Bautista et al. (2016), la automatización de los métodos interpretativos de suelos mediante un *software* especializado propicia las ventajas siguientes: a) disminución de errores en la captura de la información base, b) se evita la pérdida potencial de los datos, c) disminuye el tiempo de consulta de datos, d) evita la introducción de errores en la aplicación de las técnicas de evaluación y e) mejora el manejo de la información emanada de la evaluación.

El mapa de funciones de suelos (Figura 3) representa un modelo de integración e interacción de algunos de los factores formadores de suelo. Dicho modelo de utilización del territorio propuesto debe ser discutido entre autoridades, técnicos y sector productivo y ambiental.

Este estudio representa la primera contribución en términos de evaluación de las funciones del suelo realizada en México. De modo similar a lo concluido por Liang, Lehmann, Wu, y Stahr (2014), las evaluaciones orientadas a un uso adecuado de los recursos naturales permiten una comprensión global del suelo y proporcionan referencias a la planificación de su uso.

Conclusiones

En la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, las clases de tierra Barrosa y Charanda son las de mayor potencial en términos de su función como productoras de alimento y biomasa, y como componente del ciclo de nutrientes. No obstante, dichas clases corresponden al área con mayores asentamientos humanos; es decir, estos se localizan en las tierras fértiles, planas, profundas y con mayor humedad, situación que podría ocasionar problemas de abasto de productos agrícolas y pecuarios. Por lo anterior, existe la necesidad de formar un mecanismo efectivo de evaluación y conservación, para equilibrar los usos del suelo, considerando sus mejores aptitudes y funciones ambientales. Por otra parte, Soil & Environment® ocupa información del clima y de la pendiente del terreno o geofoma para la estimación de algunos modelos; por tal razón, el *software* requiere la incorporación de bases de datos del clima y relieve, así como de los usos de la tierra y su cercanía a caminos y cuerpos de agua.

Agradecimientos

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México por el financiamiento al proyecto PAPIIT IN 223110 y al CONACYT por la beca doctoral de la primera autora. A nuestros amigos campesinos por el trabajo de campo; a Manuel Mendoza por la asesoría para la elaboración de los mapas; a Alma Barajas A. por el apoyo durante el trabajo de campo; y a la empresa Skiu por facilitarnos la licencia del *software* S&E.

Fin de la versión en español

- Bautista, F., & Zinck, A. J. (2010). Construction of an Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework. *Journal Ethnobiology Ethnomed*, 6(7), 1–11. doi: 10.1186/1746-4269-6-7
- Banwart, S., Menon, M., Bernasconi, S. M., Bloem, J., Blum, W. E., de Souza, D. M., ...Zhang, B. (2012). Soil processes and functions across an international network of Critical Zone Observatories: Introduction to experimental methods and initial results. *Comptes Rendus Geoscience*, 344(11), 758–772. doi: 10.1016/j.crte.2012.10.007
- Bouma, J. (2009). Soils are back on the global agenda: Now what? *Geoderma*, 150, 224–225. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.01.015
- Blum, W. E. H. (2005). Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 4, 75–79. doi: 10.1007/s11157-005-2236-x
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (1999). *The nature and properties of soils* (20th ed). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2000). Servicio meteorológico nacional; datos climatológicos 1971-2000. Retrieved April 28, 2015, from <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/mich/NORMAL16047TXT>
- De la Rosa, D., Mayol, F., Díaz-Pereira, E., Fernández, M., & De la Rosa, D. (2004). A land evaluation decision support system (MicroLEISDSS) for agricultural soil protection: With special reference to the Mediterranean region. *Environmental Modeling & Software*, 19(10), 929–942. doi: 10.1016/j.envsoft.2003.10.006
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2009). ArcMap 9.3.1. ArcGIS Resource Center. Redlands, California, USA: Author.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1999). *The future of our land: Facing the challenge*. Rome, Italy: FAO-UNEP. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/004/x3810e/x3810e00.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2006). *Guidelines for soil description* (4th ed.). Rome, Italy: Author.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma, Italia: Autor. Retrieved from www.fao.org/3/a-a0541s.pdf
- Gallegos, A., Bautista, F., & Dubrovin, I. (2016). Suelo y ambiente: Software para evaluar las funciones ambientales de los suelos. *Software & Systems*, 114(2), 195–200. doi: 10.15827/0236-235x.114.195-200
- Lehmann, A. (2006). Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World reference base for soil resources). *International Agrophysics*, 20(2), 129–134. Retrieved from http://www.old.international-agrophysics.org/artykuly/international_agrophysics/IntAgr_2006_20_2_129.pdf
- Lehmann, A., David, S., & Stahr, K. (2008). *TUSEC-Technique for soil evaluation and categorization for natural and anthropogenic soils*. Germany: Universitat Hohenheim Bodenkundliche Hefte.
- Lehmann, A., & Stahr, K. (2010). The potential of soil functions and planner-oriented soil evaluation to achieve sustainable land use. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1092–1102. doi: 10.1007/s11368-010-0207-5
- Liang, S., Lehmann, A., Wu, K., & Stahr, K. (2014). Perspectives of function-based soil evaluation in land-use planning in China. *Soils Sediments*, 14, 10–22 doi: 10.1007/s11368-013-0787-y
- Nethononda, L. O., & Odhiambo, J. J. O. (2011). Indigenous soil knowledge relevant to crop production of smallholder farmers at Rambuda irrigation scheme, Vhembe District South Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 6(11), 2576–258. doi: 10.5897/AJAR10.1170
- Segura-Castruita, M. A., Sánchez-Guzmán, P., Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, M. C. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 21–28. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/573/57323103.pdf>
- Segura-Castruita, M. A., Martínez-Corral, L., García-Barrientos, E., Huerta-García, A., García-Hernández, J. L., Fortis-Hernández, M., ...Preciado-Rangel, P. (2011). Localization of local soil classes in an arid region of Mexico, using satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(1), 184–197. doi: 10.1080/01431161.2011.588630
- Siebe, C., Janh, R., & Stahr, K. (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- United States Department of Agriculture (USDA). (2014). Kellogg Soil Survey Laboratory. Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 5.0. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1253872.pdf
- IUSS Working Group WRB. (2006). *World reference base for soil resources 2006*. Rome: FAO. Retrieved from www.fao.org/3/a-a0510e.pdf
- Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G., & Del Valle, H. F. (2016). *Geopedology. An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies*. Springer International Publishing Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-19159-1