

ACCIONES PARA CONSERVACIÓN DE SUELOS IDENTIFICADAS MEDIANTE ÍNDICES KAPPA AL NORESTE DE DURANGO, MÉXICO

CONSERVATION ACTIVITIES OF SOILS IDENTIFIED THROUGH INDICES KAPPA INDICES IN NORTHEAST OF DURANGO, MEXICO

Armando López-Santos^{1*}, Palmira Bueno-Hurtado², J. Guadalupe Arreola-Ávila¹, J. Emmanuel Pérez-Salinas¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Km. 40 Carretera Gómez Palacio-Chihuahua. 35250. Bermejillo, Durango. (alopez@chapingo.urza.edu.mx). ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP), Gómez Palacio, Durango.

RESUMEN

La estimación de la erosión edáfica basada en modelación, como con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) o la USLE revisada (RUSLE), considera la acción antrópica (factor C) para los usos de la tierra y tiene limitaciones para detectar cómo sucede esa influencia. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un procedimiento para identificar la presencia o ausencia de acciones de conservación de suelos a partir de la observación experta de evidencias en terrenos dedicados a la agricultura de secano, del Norte de Durango, México. La unidad de estudio (UE) de 2250 km², incluyó a San Pedro del Gallo y San Luis del Cordero (25° 21" y 25° 59" N; -104° 29", -104° 1" O y clima árido y semiárido). El diseño experimental fue completamente al azar sobre la cobertura de parcelas agrícolas de la UE. Un cuestionario con seis categorías y 15 indicadores se empleó con la técnica Kappa-Cohen. La información se analizó con tablas de contingencia del módulo de estadísticas descriptivas en SPSS® (IBM, NY, USA). Los resultados mostraron concordancias significativas ($p \leq 0.05$) y altamente significativas ($p \leq 0.001$), que representaron acuerdos sustanciales (Kappa=0.686). Esto indicó que 52 % de los casos del estudio no realizan prácticas adecuadas de manejo del agua de lluvia para favorecer los cultivos, y no incorporan materia orgánica; así, la práctica para el control de la erosión edáfica no es una prioridad para los agricultores de la UE.

Palabras clave: conservación de suelos, erosión hídrica, observación experta

ABSTRACT

Estimation of soil erosion based on modeling, as with the Universal Soil Loss Equation (USLE) or the revised USLE (RUSLE), considers anthropogenic action (factor C) for land uses and has limitations to detect how that influence happens. The objective of this research was to develop a procedure to identify the presence or absence of soil conservation actions based on the expert observation of evidence on lands dedicated to rainfed agriculture in northern Durango, Mexico. The study unit (UE) of 2250 km², included San Pedro del Gallo and San Luis del Cordero (25° 21" and 25° 59" N; -104° 29", -104° 1" W and arid and semiarid climate). The experimental design was completely randomized on the coverage of UE agricultural plots. A questionnaire with six categories and 15 indicators was used with the Kappa-Cohen technique. The information was analyzed with descriptive statistics module contingency tables in SPSS® (IBM, NY, USA). The results showed significant ($p \leq 0.05$) and highly significant ($p \leq 0.001$) concordances, which represented substantial agreement (Kappa=0.686). This indicated that 52 % of the study cases do not perform adequate rainwater management practices to favor crops, and do not incorporate organic matter; thus, the practice for the control of soil erosion is not a priority for UE farmers.

Key words: soil conservation, water erosion, expert observation

INTRODUCTION

In Mexico, data on water (EH) or wind erosion (EE) have historically been contradictory. For example, López-Santos (2016) considered three sources with EH and EE values: 29.5 and 30.7 % (Garrido and Cotler, 2010), 11.8 and 9.5 %

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: abril, 2016. Aprobado: enero, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 591-605. 2017.

INTRODUCCIÓN

En México, los datos de erosión hídrica (EH) o eólica (EE) históricamente han sido contradictorios. Por ejemplo, López-Santos (2016) consideró tres fuentes con valores de EH y EE: 29.5 y 30.7 % (Garrido y Cotler, 2010), 11.8 y 9.5 % (SEMARNAT, 2011) y 35 y 20 % (CONAFOR-UACH, 2013) sobre la magnitud del Territorio Nacional (1.9 millones de km²). EH y EE mostraron incertidumbres de 15.2 y 13.8 %; estos valores evidentemente producen escenarios diferentes de la misma problemática.

Respecto a esta controversia, CONAFOR-UACH (2013) menciona que la causa más probable de esas divergencias tiene que ver con los métodos más usados, que han incluido observaciones de campo, empleo de ecuaciones paramétricas, como la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), USLE revisada (RUSLE) y el desarrollo de algoritmos asociados a imágenes de satélite.

El índice Kappa es un método de la estadística discreta que calcula la concordancia entre dos observadores, cuyo fin es determinar de modo categórico el estado en que se encuentra un problema en estudio (van Vliet *et al.*, 2011; Saldaña *et al.*, 2012; Lane *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2015). Su uso más frecuente, como método de trabajo es visualización (fotointerpretación) para la identificación de rasgos del territorio sobre imágenes de satélite. Van Vliet *et al.* (2011) usaron este método para medir la concordancia entre dos grupos de datos obtenidos de dos mapas, con el fin de evaluar cambios en un ambiente de simulación de usos de la tierra en Europa. Feng *et al.* (2015) utilizaron técnicas de percepción remota para identificar zonas de usos de la tierra en Yuyao China, mediante clasificadores aleatorios sobre imágenes SPOT de mediana resolución, siendo este índice (Kappa) uno de los recursos estadísticos empleados. El índice Kappa como método para analizar datos de campo es análogo a los métodos empleados para evaluar el paisaje en contextos forestales, como el reportado por Zubelzu y Hernández (2015). Este último partió del análisis del paisaje completo e incluyó 718 fotografías desde 92 sitios, con el fin de deducir un modelo que les permitiera explicar, a partir de la caracterización de los atributos del paisaje, las preferencias de la población. Ellos concluyeron que color y composición espacial son los dos atributos que contribuyen más a modelar las preferencias de quienes juzgan las fotografías.

(SEMARNAT, 2011) and 35 and 20 % (CONAFOR-2013) on the magnitude of the National Territory (1.9 million km²). EH and EE showed uncertainties of 15.2 and 13.8 %; these values obviously produce different scenarios of the same problem.

Concerning this controversy, CONAFOR-UACH (2013) mentions that the most probable cause of these divergences has to do with the most used methods, which have included field observations and the use of parametric equations, such as the universal soil loss equation (USLE), revised USLE (RUSLE) and the development of algorithms associated with satellite images.

The Kappa index is a method of discrete statistics that calculates the concordance between two observers, whose purpose is to categorically determine the state of a problem under study (van Vliet *et al.*, 2011; Saldaña *et al.*, 2012; Lane *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2015). Its most frequent use, as a working method, is visualization (photointerpretation) for the identification of territory features on satellite images. Van Vliet *et al.* (2011) utilized this method of the concordance between two groups of data obtained from two maps to evaluate changes in an environment of simulation of land uses in Europe. Feng *et al.* (2015) identified land use zones in Yuyao, China, using remote sensing techniques and Kappa index, with random classifiers on SPOT images of medium resolution; this is one of the statistical resources used. The Kappa index as a method for analyzing field data is analogous to the methods used to evaluate the landscape in forest contexts, as reported by Zubelzu and Hernández (2015). The latter was based on the analysis of the whole landscape, and included 718 photographs from 92 sites in order to deduce a model that would allow them to explain the preferences of the population, based on the characterization of landscape attributes. They concluded that color and spatial composition are the two attributes that most contribute to modeling the preferences of those who judge the photographs.

The state of health and condition of ecosystem services, as they are currently defined (MEA, 2005): supply, support, regulation and culture, are essentially based on subjective assessments, which are then weighted by quantitative measures. The method of the 7th USDA approach, proposed by Klingebiel and Montgomery (1961) to classify lands is based on both components. The landscape valuation method

El estado de salud y condición de los servicios de los ecosistemas, como se definen actualmente (MEA, 2005): abastecimiento, apoyo, regulación y cultural, parten esencialmente de valoraciones subjetivas, que luego se ponderan mediante mediciones cuantitativas. El método de la 7ma aproximación de la USDA, propuesto por Klingebiel y Montgomery (1961) para clasificar tierras se fundamenta en ambos componentes. El método de valoración del paisaje reportado por Zubelzu y Hernández (2015) se basa en el uso de atributos estéticos, como variables explicativas de las preferencias, basadas en observaciones del evaluador. Ramírez-Carballo *et al.* (2011) emplearon una metodología participativa para la caracterización de áreas degradadas por erosión edáfica, con el fin de detectar áreas prioritarias para su restauración, en cinco predios ganaderos de la Reserva de la Biosfera Mapimí en Durango, México; la cual se basó principalmente en la observación de los pobladores y técnicos participantes durante las jornadas de campo.

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar un procedimiento para identificar la presencia o ausencia de acciones de conservación de suelos a partir de la observación experta de evidencias en terrenos dedicados a la agricultura de secano del Norte de Durango, México. La hipótesis fue que más de 50 % de los indicadores aplicados en campo, distribuidos en seis categorías, conforman los elementos necesarios para determinar el sentido de la acción antrópica en la prevención de la erosión hídrica para la unidad de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La UE (Figura 1A) incluyó los municipios San Pedro del Gallo y San Luis del Cordero, al NE del estado de Durango, México, y al O de la Comarca Lagunera, Durango (25° 21' y 25° 59' N, -104° 29' -104° 1' O); colinda al N con Hidalgo y Mapimí, al S con Rodeo y Nazas, al E con Nazas y al O con Indé (INEGI, 2010). La UE presenta un gradiente climático, de NO a SE, de semiárido (BS1kw) a árido (BWhw, BSohw), temperatura promedio anual de 18 °C, intervalo de 14 a 22 °C y lluvia anual de 200 a 400 mm (Figura 1B y 1C); altitud de 1300 a 2400 m y superficie aproximada de 2550 km² (alrededor del 1.9 % del territorio estatal). En el territorio se practica agricultura principalmente de secano o de temporal (AT) asentada principalmente (92 %) en Leptosoles (INEGI, 2007; INEGI, 2010).

reported by Zubelzu and Hernández (2015) is based on the use of aesthetic attributes as explanatory variables of preferences, based on evaluator observations. Ramírez-Carballo *et al.* (2011) used a participatory methodology for the characterization of areas degraded by soil erosion in order to detect priority areas for restoration in five cattle ranches of the Mapimí Biosphere Reserve in Durango, Mexico; it was based mainly on the observation of the inhabitants and technical participants during the field trips.

The objective of the present study was to develop a procedure to identify the presence or absence of soil conservation actions based on the expert observation of evidence on lands dedicated to dryland agriculture in the north of Durango, Mexico. The hypothesis was that more than 50% of the indicators applied in the field, distributed in six categories, comprise the necessary elements to determine the meaning of the anthropic action in the prevention of water erosion for the study unit (SU).

MATERIALS AND METHODS

The UE (Figure 1a) included the municipalities of San Pedro del Gallo and San Luis del Cordero, NE of the state of Durango, Mexico, and W of the Comarca Lagunera, Durango (25° 21' and 25° 59' N, -104° -29' -104° 1' W); it borders N with Hidalgo and Mapimí, S with Rodeo and Nazas, E with Nazas and W with Indé (INEGI, 2010). The UE presents a climatic gradient, from NW to SE, from semi-arid (BS1kw) to arid (BWhw, BSohw), average annual temperature of 18 °C, ranging from 14 to 22 °C, and annual rainfall of 200 to 400 mm (Figure 1b and 1c); altitude of 1300 to 2400 m and surface area of approximately 2550 km² (about 1.9 % of the state territory). In the territory dry land agriculture prevails settled mainly (92 %) in Leptosoles (INEGI, 2007; INEGI, 2010).

Phases of research, input and pre-diagnosis information

The research was carried out in three phases, with a trans-scalar approach (from regional to local), as described by Segundo and Bocco (2012). Thus, a SU reference pre-diagnostic was established. The general characteristics of the phases were as follows.

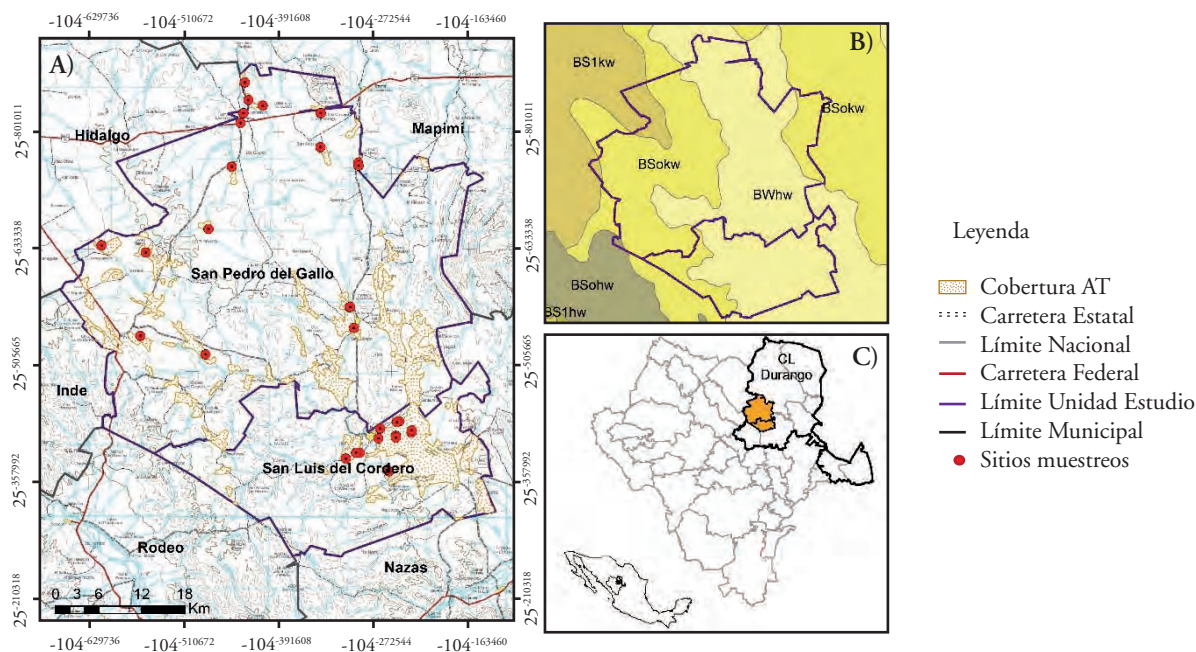


Figura 1. Localización geográfica (A) sub-climas, (B) e integración territorial (C) de la unidad de estudio.
Figure 1. Geographic location (A), sub-climates, (B) and territorial integration (C) of the study unit.

Fases de la investigación, información de entrada y pre-diagnóstico

La investigación la desarrollamos en tres fases, con un enfoque transescalar (de regional a local), de acuerdo con lo descrito por Segundo y Bocco (2012). Así, un pre-diagnóstico de referencia de la UE se estableció. Las características generales de las fases fueron las siguientes.

Fase I. Obtención de datos preliminares e investigación del proceso agrícola de la UE. La información de entrada incluyó los conjuntos vectoriales (*shp*) en escala 1:250 000 de los temas edafología Serie II (INEGI, 2007) y de Uso del Suelo y Vegetación (USV) serie V (INEGI, 2010). Del conjunto vectorial USV se extrajeron los polígonos de uso agrícola de secano (Figura 1A y 1B). En tanto que el proceso agrícola en la UE se documentó con apoyo de los productores informantes.

Fase II. La información de la Fase I se analizó e interpretó al contrastarla con información con resolución mayor. Para esto, los conjuntos vectoriales de la cobertura ejidal se emplearon con escala 1:50 000, el modelo digital de elevación con resolución de 30 m, que se descargó del Continuo de Elevación Mexicano (CEM 3.0) de INEGI (2015) y la escena (Path/Row) 30/42 de

Phase I. Preliminary data and research of the SU agricultural process. The input information included the vector sets (*shp*) at scale 1: 250,000 of the Soil Science Series II (INEGI, 2007) and Land Use and Vegetation (USV) series V (INEGI, 2010). From the USV vector set we obtained the polygons of dryland agricultural use (Figure 1a and 1b); while the agricultural process in the SU was documented with support from the reporting producers.

Phase II. The information from Phase I was analyzed and interpreted by contrasting it with information of higher resolution. To this end, the vector sets of the ejido coverage were used at a 1: 50 000 scale; the digital elevation model with resolution of 30 m, which was downloaded from the Mexican Elevation Continuum (Continuo de Elevación Mexicana) (CEM 3.0) of INEGI (2015) and the scene (Path/Row) 30/42 from LandSat May 8, 2014, downloaded from the United States Geological Service Portal (USGS, 2015). From the latter, we obtained sub-images consistent with the SU coverage in order to identify areas of agricultural use (Figure 3a and 3b).

Phase III. In this phase, we identified the requirements for field work, such as the technical profile of expert observers (EO) and the selection of direct and indirect factors (indicators) that contribute to the phenomenon of water erosion.

LandSat 8 de mayo del 2014, descargada del Portal de Servicio Geológico de EUA(USGS, 2015). De este último, sub-imágenes acordes a la cobertura de la UE se extrajeron para identificar las áreas de uso agrícola (Figura 3A y 3B).

Definition of indicators

The EO, with an agronomy profile and knowledge on soil erosion, elaborated the questionnaire and created a theoretical

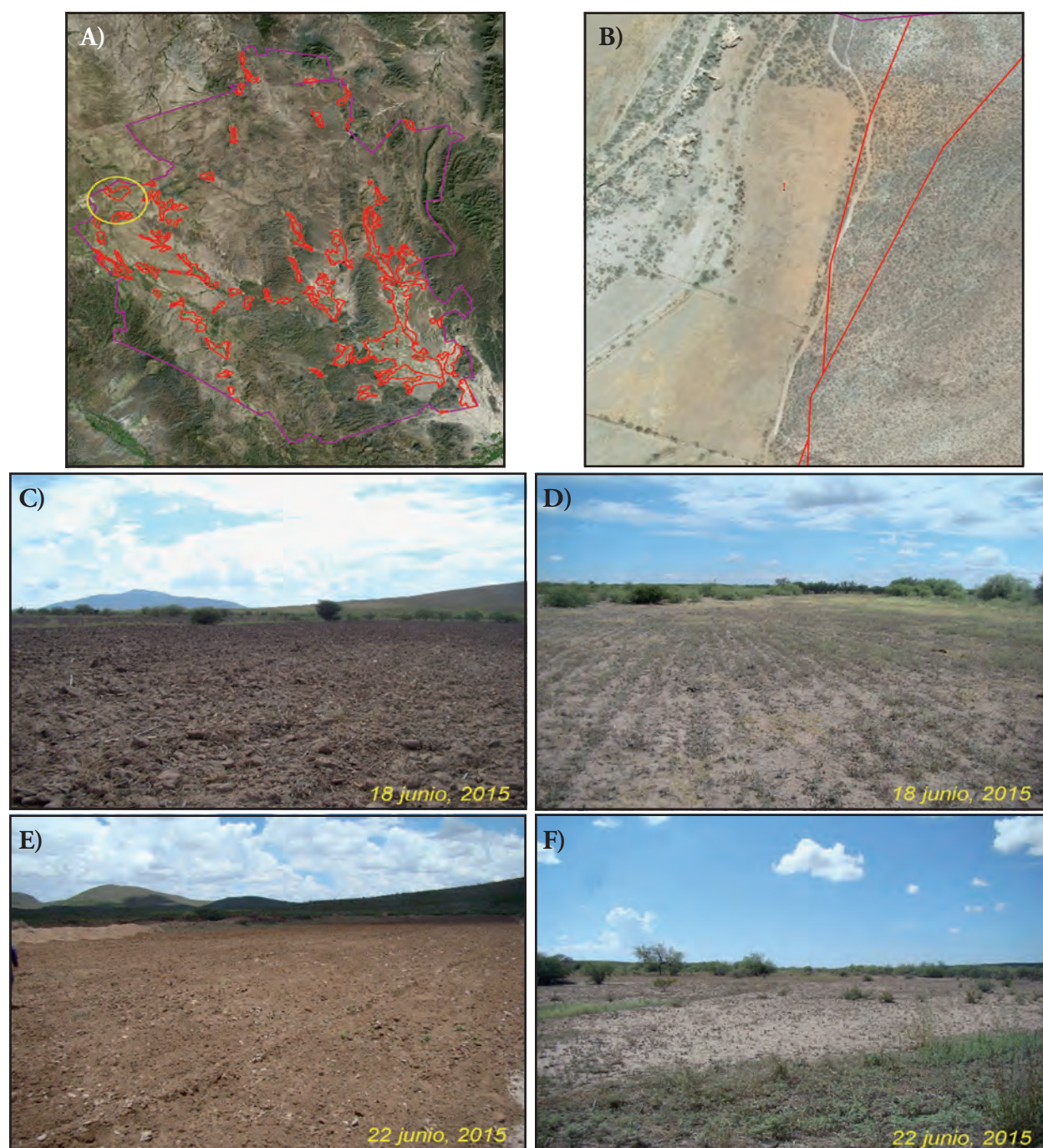


Figura 3. Imágenes a escala regional (A), local (B) y parcelario en muestreos realizados en distintas fechas (C-F).
Figure 3. Images at regional (A), local (B) and plot scale in samples taken at different dates (C-F).

Fase III. En esta fase se identificaron los requerimientos para realizar el trabajo de campo, como el perfil técnico de los observadores expertos (OE) y la selección de los factores (indicadores) directos e indirectos que contribuyen en el fenómeno de la erosión hídrica.

Definición de indicadores

Los OE, con perfil de agronomía y conocimientos en la temática de la erosión edáfica, elaboraron el cuestionario y crearon un marco teórico para definir el sentido y la aplicación de cada uno de los 15 indicadores (I_x) para generar respuestas categóricas. Esos indicadores fueron agrupados en seis categorías (Cuadro 1).

Diseño estadístico y tamaño de muestra

El diseño estadístico se estableció a partir de la definición de un tamaño de muestra basado en la superficie total (23 606 ha) dedicada a la agricultura de secano en la UE y en dotación promedio (20 ha) para este uso:

$$n = \frac{t^2 \times p(p-1)}{m^2} \quad (1)$$

framework to define the meaning and application of each of the 15 indicators (I_x) in order to generate categorical responses. These indicators were grouped into six categories (Table 1).

Statistical design and sample size

The statistical design was based on the definition of a sample size based on the total area (23 606 ha) dedicated to dryland agriculture in the SU and an average endowment (20 ha) for this use:

$$n = \frac{t^2 \times p(p-1)}{m^2} \quad (1)$$

where n is the sample size, t is the confidence level (at 0.95=1.96), p is the proportion of land tenure owned by a producer relative to the total number of hectares in the producing area (20/23,606 = 0.00085), and m is the margin of error (0.05). Although the result was $n=28$, in the end it was increased to 31 plots, which we visited after a completely randomly designed selection (Figure 1a) and applied the questionnaire.

Cuadro 1. Claves y descripción por categoría (I) e indicadores (x) definidos.
Table 1. Keys and description by category (I) and indicators (x) defined.

Clave	Descripción por categoría e indicador
I	Categoría. Color (oscuro) del suelo (asociado a la fertilidad)
I_1	Se debe a que ha llovido recientemente
I_2	Se hizo una buena preparación de la cama de raíces en años anteriores
I_3	Se debe a que tiene un buen contenido de materia orgánica en el suelo
II	Categoría. Incorporación de residuos de cosecha
II_1	Evidencia de residuos de cosecha anterior sobre la superficie
II_2	Los esquilmos están enterrados en la capa superior del suelo (30 cm de profundidad)
II_3	Los esquilmos están concentrados solo en una parte de la parcela
III	Categoría. Profundidad efectiva del suelo en la parcela
III_1	La parcela está ubicada en suelos con profundidades adecuadas (>100 cm)
III_2	Hay evidencia de un buen manejo de ésta variable como un factor limitante
IV	Categoría. Pendiente de la parcela
IV_1	Es evidente del manejo de esta variable porque hay surcado al contorno
IV_2	Está terraceado
IV_3	Tiene una combinación de surcos y terrazas
V	Categoría. Manejo del agua dentro y fuera de la parcela
V_1	Evidencia de parcelas favorecidas para aprovechar el agua de lluvia
V_2	Cuenta con estructuras de control parcelario
VI	Categoría. Erosión edáfica
VI_1	Hay zanjas dentro de la parcela
VI_2	Pérdida de la capa arable

donde n es el tamaño de la muestra, t es el nivel de confianza (al $0.95=1.96$), p es la proporción de tenencia de tierras que posee un productor con respecto al número total de hectáreas de la zona productora ($20/23,606 = 0.00085$) y m es el margen de error (0.05). Aunque el resultado fue $n=28$, al final se incrementó a 31 parcelas, que después de una selección diseñada completamente al azar (Figura 1a) se visitaron y el cuestionario se aplicó.

Análisis estadístico y prueba de hipótesis

El análisis estadístico y prueba de hipótesis se realizó a partir del coeficiente Kappa de Cohen (1960) o coeficiente de concordancia Kappa. En este caso, el coeficiente expresa el acuerdo entre dos observadores, aplicado a dos grupos de datos, definidos en seis categorías (I, II, III, ... c) y 15 indicadores (1, 2, 3, ... ij). Para su análisis, Kappa se integra en una matriz de contingencia para los dos grupos de datos (a y b), representados por las respuestas de los dos observadores como A y B (Cuadro 2).

Los elementos $p(a=AI1 \wedge b=BI1)$ en el Cuadro 1 indican la fracción que el indicador tiene para cada categoría en el dominio de cada observador (A y B) y la línea diagonal $p(a=Acij \wedge b=Bcij)$ expresa el acuerdo en los 15 indicadores de la evaluación por ambos observadores; y en renglones y columnas totales $p(a=Acij)$ y $p(b=Bcij)$ indican la fracción que corresponde a los observadores A y B (Cuadro 2).

A partir de las fracciones de la matriz de contingencia (Cuadro 2) pueden calcularse la fracción del acuerdo observado P_o y la fracción del acuerdo esperado (P_e), como sigue:

$$P_o = \sum_{i=1}^z p(a=i \wedge b=i) \quad (2)$$

$$P_e = \sum_{i=1}^z p(a=i) \times (b=1) \quad (3)$$

Statistical analysis and hypothesis testing

We conducted the statistical analysis and hypothesis testing using the Cohen's Kappa coefficient (1960) or Kappa concordance coefficient. In this case, the coefficient expresses the agreement between two observers, applied to two data groups, defined in six categories (I, II, III, ... c) and 15 indicators (1, 2, 3, ... ij). For its analysis, Kappa is integrated into a contingency matrix for the two data groups (a and b), represented by the responses of the two observers as A and B (Table 2).

The elements $p(a=AI1 \wedge b=BI1)$ in Table 1 indicate the fraction that the indicator has for each category in the domain of each observer (A and B) and the diagonal line $p(a=Acij \wedge b=Bcij)$ expresses agreement on the 15 indicators of the evaluation by both observers; and in total rows and columns $p(a=Acij)$ and $p(b=Bcij)$ indicate the fraction corresponding to observers A and B (Table 2).

From the fractions of the contingency matrix (Table 2), the fraction of the observed agreement P_o and the fraction of the expected agreement (P_e) can be calculated as follows:

$$P_o = \sum_{i=1}^z p(a=i \wedge b=i) \quad (2)$$

$$P_e = \sum_{i=1}^z p(a=i) \times (b=1) \quad (3)$$

where i can be any of the 15 indicators used by both observers whose z -limit in the Contingency Table for a and b were defined as Acij and Bcij, respectively.

The P_o and P_e fractions were needed to calculate the degree of agreement (Yes/Yes or No/No), disagreement (Yes/No) and uncertainty (No/Don't know) and choose the appropriate indicator, defined as:

Cuadro 2. Matriz de contingencia genérica para el análisis probabilístico de seis categorías y 15 indicadores.
Table 2. Generic contingency matrix for the probabilistic analysis of six categories and 15 indicators.

Obs. A-Cat/ind.	Obs. B-Cat/ind.				Total Obs. B
	B_{I1}	B_{I2}	B_{III}	B_{Cij}	
A_{I1}	$p(a=A_{I1} \wedge b=B_{I1})$	$p(a=A_{I1} \wedge b=B_{I2})$	...	$p(a=A_{I1} \wedge b=B_{Cij})$	$p(a=A_{I1})$
A_{I2}	$p(a=A_{I2} \wedge b=B_{I1})$	$p(a=A_{I2} \wedge b=B_{I2})$	...	$p(a=A_{I2} \wedge b=B_{Cij})$	$p(a=A_{I2})$
A_{III1}	$p(a=A_{III1} \wedge b=B_{I1})$	...	$p(a=A_{III1} \wedge b=B_{III})$	$p(a=A_{III1} \wedge b=B_{Cij})$	$p(a=A_{III1})$
...	...	...	...	...	...
A_{Cij}	$p(a=Acij \wedge b=B_{I1})$	$p(a=Acij \wedge b=B_{I2})$	...	$p(a=Acij \wedge b=B_{Cij})$	$p(a=Acij)$
Total Obs. A	$p(b=B_{I1})$	$p(b=B_{I2})$	...	$p(b=B_{Cij})$	1

Obs: observador; Cat: categoría y p : proporción ♦ Obs: observer; Cat: category and p : proportion.

donde i puede ser cualquiera de los 15 indicadores empleados por ambos observadores, cuyo límite z en el Cuadro de contingencia para a y b se definieron como Ac_{ij} y Bc_{ij} , respectivamente.

Las fracciones P_o y P_e se necesitaron para calcular el grado de acuerdo (Si/Si o No/No), desacuerdo (Si/No) e incertidumbre (No/Se) y elegir el indicador adecuado, definido como:

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (4)$$

donde k es el coeficiente de concordancia o índice Kappa (entre 0 y 1). Cuando k tiende a 1 su gradiente puede quedar en una de las seis condiciones siguientes: *i*) sin acuerdo (<0), *ii*) insignificante (0-0.2), *iii*) mediano (0.21 - 0.40), *iv*) moderado (0.41 - 0.60), *v*) sustancial (0.61 - 0.80) o *vi*) casi perfecto (0.81 - 1.0).

El análisis de la información se realizó en el módulo de estadística descriptiva en SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evidencias observadas en campo

Color del suelo asociado a su fertilidad

Para el color del suelo asociado a su fertilidad en su capa superior ambos observadores mostraron incertidumbre alta, con respuesta principal “no sé” (66 y 74 %). Las preguntas dos (I_2) y tres (I_3) estuvieron asociadas a las labores de pre-siembra (barbecho o subsuelo) y al contenido de materia orgánica del suelo. Esto fue acorde con el hecho de que durante el estudio de campo hubo lluvias (15.8 mm y 16.4 en 18 y 19 de junio) que provocaron que la humedad obscureciera el suelo en algunos casos (Figura 2A).

Incorporación de residuos de cosecha

Los tres indicadores empleados para detectar residuos de cosecha, como mantillo (II_1), en parte o toda la superficie (II_2), o enterrados (II_3) por rastra o barbecho, mostraron coincidencia (42 y 45 %) entre los OE, sin esquilmos en la superficie o debajo; solo 29 % de los casos mostró evidencia en partes asiladas (Figura 2B).

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (4)$$

where k is the coefficient of agreement or Kappa index (between 0 and 1). When k tends to 1 its gradient may fall into one of the following six conditions: *i*) without agreement (<0), *ii*) insignificant (0 - 0.2), *iii*) medium (0.21-0.40), *iv*) moderate (0.40 - 0.60), *v*) substantial (0.61 - 0.80) or *vi*) almost perfect (0.81 - 1.0).

The analysis of the information was performed in the descriptive statistics module of SPSS.

RESULTS AND DISCUSSION

Evidence observed in the field

Color of soil associated with fertility

For the color of the soil associated with its fertility in its upper layer both observers showed high uncertainty, with main response “I do not know” (66 and 74 %). Questions two (I_2) and three (I_3) were associated with pre-sowing (fallow or subsoil) and soil organic matter content. This was in accordance with the fact that during the field study there were rains (15.8 mm and 16.4 on June 18 and 19) that caused humidity which darkened the soil in some cases (Figure 2a).

Incorporation of crop residues

The three indicators used to detect crop residues, such as mulch (II_1), in part or all of the surface (II_2), or buried (II_3) by trawl or fallow, showed a coincidence (42 % and 45 %) between the EO, with no slashes on or below surface; only 29 % of the cases showed evidence in isolated parts (Figure 2b).

Effective depth of soil

Regarding soil depth, both observers divided their response in two senses: they agreed that 74 % of the plots were located on land with adequate depths (>100 cm) (III_1) and in 68 % of the cases they indicated that there was no evidence of adequate management of this variable (III_2) (Figure 2C).

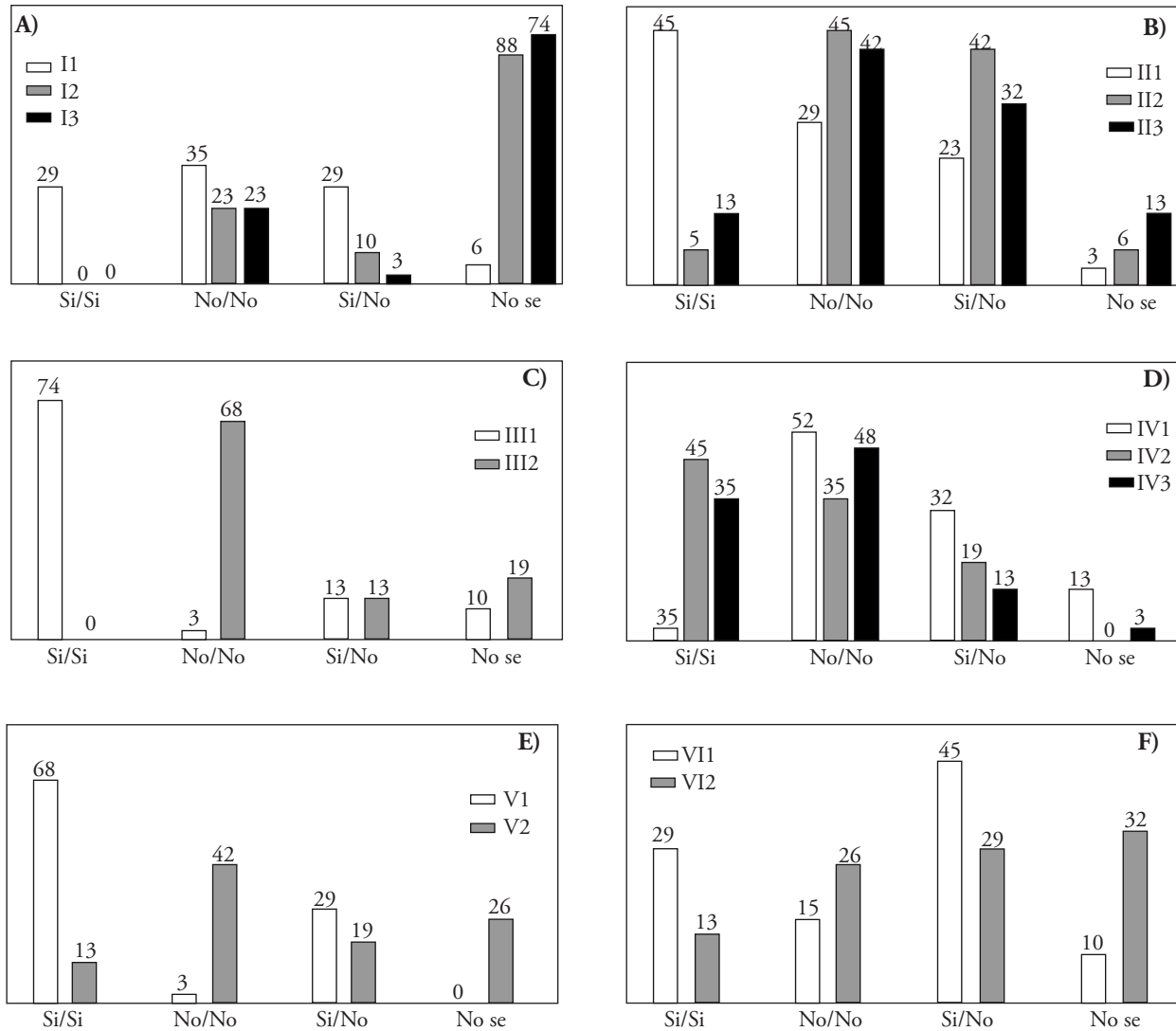


Figura 2. Tipología de evidencias relacionadas con el manejo de los suelos y el agua en las parcelas evaluadas.
Figure 2. Type of evidence related to the management of soils and water in the plots evaluated.

Profundidad efectiva del suelo

Respecto a la profundidad del suelo, ambos observadores dividieron su respuesta en dos sentidos: coincidieron en que 74 % de los casos las parcelas se ubican en terrenos con profundidades adecuadas (>100 cm) (III₁) y en 68 % de los casos señalaron que no había evidencia de un manejo adecuado de esta variable (III₂) (Figura 2C).

Slope of the plot

For the slope variable of the plot there was certainty; since in 52 % of the cases there was no evidence of furrow contouring (IV1), and there were lands (45 %) with terrace evidence (IV2); thus, the combination of furrows and terraces (IV3) accumulated 48 % of negative responses (Figure 2D).

Pendiente de la parcela

Para la variable pendiente de la parcela hubo certeza; pues en 52 % de los casos la respuesta fue no, no hubo evidencia de surcado al contorno (IV_1), y si se encontraron terrenos (45 %) con evidencias de terracedo (IV_2); así, la combinación de surcos y terrazas (IV_3) acumuló 48 % de respuestas negativas (Figura 2D).

Manejo del agua dentro y fuera de la parcela

Porcentaje alto (68 %) de evidencia mostró que los agricultores aprovechan las corrientes naturales que forman arroyos en épocas de lluvia para conducir el agua a sus parcelas (V_1), pero en 42 % de los casos no se localizaron estructuras de control parcelario (V_2), lo que incrementa los riesgos de inundación (Figura 2E).

Erosión edáfica

La inspección de campo por ambos observadores no coincidió, tuvieron discrepancia Si/No en los indicadores: presencia de zanjas (VI_1) y erosión laminar sobre la capa arable (VI_2), con 45 y 29 %, respectivamente. Por lo que la respuesta afirmativa fue similar a la negativa, y los porcentajes sumados de ambos indicadores para determinar si hay erosión totalizaron 42 % (Figura 2F).

Análisis e interpretación de concordancia

El análisis de concordancia permitió obtener la medida específica sobre el grado de acuerdo entre los OE en cada indicador, en seis de ellos hubo acuerdos significativos ($p \leq 0.05$) y altamente significativos ($p \leq 0.001$). Estos representaron acuerdos sustanciales (Kappa=0.686), que indicaron que más de la mitad de las parcelas evaluadas (52 %) presentaron evidencias de prácticas adecuadas para el manejo del agua de lluvia, favorecer los cultivos y mejorar la expectativa para obtener cosechas, pero no para la conservar el suelo (Cuadro 3).

Los resultados también confirman la hipótesis de independencia de acuerdos aleatorios en el 40 % (6/15) de los indicadores que corresponde a las categorías I, II, IV y V (Cuadro 3). La interpretación de estas categorías es la siguiente.

Water management on and off the plot

A high percentage (68 %) of evidence showed that farmers use the natural currents that form streams during the rainy seasons to drive water to their plots (V_1), but in 42 % of the cases no plot control structures were located (V_2), which increases flood risks (Figure 2E).

Soil erosion

Field inspection by both observers did not coincide, they had a Yes/No discrepancy in the indicators: presence of trenches (VI_1) and laminar erosion on the arable layer (VI_2), of 45 and 29%, respectively. So the affirmative response was similar to the negative, and the combined percentages of both indicators to determine if there was erosion totaled 42 % (Figure 2F).

Analysis and interpretation of concordance

The concordance analysis allowed to obtain the specific measure on the degree of agreement between the OEs in each indicator; in six of them there were significant ($p \leq 0.05$) and highly significant ($p \leq 0.001$) agreements. These represented substantial agreements (Kappa=0.686), which indicated that more than half of the plots evaluated (52 %) presented evidence of adequate practices to manage rainwater, favor crops and improve the expectation of harvesting, but not to conserve the soil (Table 3).

The results also confirm the hypothesis of independence of random agreements in 40% (6/15) of the indicators corresponding to categories I, II, IV and V (Table 3). The interpretation of these categories is as follows.

I. Color (dark) of the soil (associated with its fertility)

The moisture content of the soil due to the rains of the first days of the study amounted to 32.2 mm in two consecutive days. On the organic matter content, the observers showed medium agreements, with Kappa indexes of 0.338 and 0.228. That is, soil color indicators I1 and I3 could not be associated with soil fertility in 35% (No/No) and 74% (I do not know) of the cases (Figure 3C and 3E).

Cuadro 3. Resultados del análisis de estadístico Kappa para determinar el grado de acuerdo entre los observadores.**Table 3. Results of Kappa statistical analysis to determine the degree of agreement among observers.**

Categoría/Índice	ET	Taprox	SGF	Ik	Acuerdo
I/Color (oscuro) del suelo del suelo (asociado a su fertilidad)					
I ₁	0.148	2.145	0.032	0.338	Mediano
I ₂	0.094	0.85	0.396	0.087	Sin acuerdo
I ₃	0.096	2.029	0.042	0.228	Mediano
II/Incorporación de residuos de cosecha					
II ₁	0.141	3.053	0.002	0.5	Moderado
II ₂	0.139	1.158	0.247	0.137	Insignificante
II ₃	0.139	1.03	0.303	0.135	Insignificante
III/Profundidad efectiva del suelo					
III ₁	0.189	1.017	0.309	0.135	Insignificante
III ₂	0.145	1.062	0.288	0.109	Insignificante
IV/Pendiente de la parcela					
IV ₁	0.127	-0.26	0.79	-0.03	Sin acuerdo
IV ₂	0.141	3.43	0.001	0.611	Moderado
IV ₃	0.123	4.063	0.0001	0.686	Sustancial
V/Manejo del agua dentro y fuera de la parcela					
V ₁	0.146	0.675	0.499	0.085	Sin acuerdo
V ₂	0.1	2.558	0.011	0.243	Mediano
VI/Erosión edáfica					
VI ₁	0.115	0.77	0.441	0.091	Insignificante
VI ₂	0.11	0.362	0.717	0.044	Insignificante

Cat/Ind: categoría e indicadores, ET: error típico, Taprox: valor de T aproximado, SGF: significancia estadística e Ik: índice Kappa ♦ Cat / Ind: category and indicators, ET: typical error, Taprox: approximate T value, SGF: statistical significance and Ik: Kappa index.

I. Color (oscuro) del suelo (asociado a su fertilidad)

El contenido de humedad del suelo, por las lluvias de los primeros días del estudio, representaron 32.2 mm en dos días consecutivos. Para el contenido de materia orgánica los observadores mostraron acuerdos medianos, con índices Kappa de 0.338 y 0.228. Es decir, los indicadores I₁ e I₃ de color del suelo no pudieron asociarse a la fertilidad del suelo en 35 % (No/No) y 74 % (No sé) de los casos (Figura 3C y 3E).

II. Incorporación de residuos de cosecha

Para el primer indicador de la categoría II₁ los observadores tuvieron un acuerdo moderado, 45 % de los casos evaluados afirmativamente (Si/Si), con índice Kappa de 0.5 y nivel de confianza de 99 %;

II. Incorporation of crop residues

For the first indicator of category II₁ the observers had a moderate agreement, 45 % of the cases evaluated affirmatively (Yes/Yes), with a Kappa index of 0.5 and a confidence level of 99 %; but evidence showed that the incorporation of crop residues for soil protection or increased biological fertility is not commonly performed (Figure 3C).

IV. Slope of the plot

For indicators III₂ and III₃ of category IV the observers had moderate to substantial agreements, with Kappa indexes of 0.611 and 0.686, and confidence level of 99 %. Thus, of the sites visited, only 45 % of the lands were terraced and in 48 % furrows and terraces are not combined (Figure 3D).

pero, la evidencia mostró que la incorporación de residuos de cosecha, para la protección de los suelos o incrementar la fertilidad biológica, no se realiza comúnmente (Figura 3C).

IV. Pendiente de la parcela

Para los indicadores III_2 y III_3 de la categoría IV los observadores tuvieron acuerdos de moderados a sustanciales, con índices Kappa de 0.611 y 0.686, y nivel de confianza de 99 %. Así, de los sitios visitados solo 45 % de los terrenos están terraceados y en 48 % no se combina surcos y terrazas (Figura 3D).

V. Manejo del agua dentro y fuera de la parcela

Para el indicador V_2 de la categoría V los observadores tuvieron un acuerdo mediano con un índice Kappa de 0.243. El nivel de confianza fue 95 %. Con ello se reveló que 42 % de los sitios visitados no cuentan con estructuras para el control del agua a nivel parcelario (Figura 3D y 3F).

Pertinencia de las categorías empleadas para detectar acciones de conservación de suelo

De las seis categorías (Cuadro 1) sólo la VI (erosión edáfica) tuvo relación directa con la problemática estudiada. Para las primeras cinco categorías la pertinencia y el enfoque de su aplicación, mediante los indicadores definidos en cada caso, y detectar las acciones de conservación del caso estudiado sería como sigue. Bautista-Zúñiga *et al.* (2003), Doi y Ranamukhaarachchi (2007), Towhid (2013) y IUSS-WRB (2015) confirmaron la pertinencia del uso del color de suelo (Categoría I) y sus indicadores para relacionarlo con el contenido de materia orgánica y su susceptibilidad a la erosión hídrica, sobre todo porque en la UE predominan los Leptosoles. Bautista-Zúñiga *et al.* (2003) mencionaron que en la nomenclatura Maya el color es una propiedad distintiva para los Leptosoles en la zona henequenera de Yucatán, especialmente para los colores café-rojizos como los de las Figuras 3C y 3E.

El rastreo de evidencias concerniente a la incorporación de residuos de cosecha (Categoría II), sobre la superficie (II_1) o enterrados (II_2), como en el caso anterior, permite detectar problemas de erosión actuales o potenciales (Figura 3C-3F).

V. Water management on and off the plot

For the V_2 indicator of category V the observers had a medium agreement with a Kappa index of 0.243. The confidence level was 95 %. It was revealed that 42 % of the sites visited do not have structures to control water at the plot level (Figures 3D and 3F).

Relevance of the categories used to detect soil conservation actions

Of the six categories (Table 1), only VI (edaphic erosion) was directly related to the problem studied. In the first five categories, the pertinence and approach of their application through the indicators defined in each case, and to detect the conservation actions of the case studied would be as follows. Bautista-Zúñiga *et al.* (2003), Doi and Ranamukhaarachchi (2007), Towhid (2013) and IUSS-WRB (2015) confirmed the relevance of using soil color (Category I) and its indicators to relate it to organic matter content and its susceptibility to water erosion, mainly because Leptosols predominate in the SU. Bautista-Zúñiga *et al.* (2003) mentioned that in the Mayan nomenclature color is a distinctive property for Leptosols in the henequen area of Yucatan, especially for reddish-brown colors like those in Figures 3c and 3e.

Evidence tracking concerning the incorporation of crop residues (Category II) on the surface (II_1) or buried (II_2), as in the previous case, allows to detect current or potential erosion problems (Figure 3c-3f).

It is documented that soil cover, such as changes in soil use, can alter the hydrological cycle at different scales through changes in runoff rates, sediment yield and infiltration (Mzezewa and Rensburg, 2011; Heo *et al.*, 2015); so that in the absence of conservation practices such as the use of cover crops, no tillage, crop rotation and other protection measures or mulching, the problem of erosion can worsen without control (Nangia *et al.*, 2010; Bhardwaj and Kendra, 2013).

The effective depth of the soil in the plot (Category III) and the applied indicators (III_1 and III_2) are also relevant in this case, since it is a fundamental variable from which it is possible to define (at least) the productive aptitude because of its close relation with efficiency in the decomposition of the crop residues that are incorporated in the soil

Está documentado que las cubiertas del suelo, como los cambios del uso del suelo, pueden alterar el ciclo hidrológico a diferentes escalas mediante alteraciones en las tasas de escurrimiento, de producción de sedimentos y de infiltración (Mzezewa y Rensburg, 2011; Heo *et al.*, 2015); de tal manera que, en ausencia de prácticas de conservación como el uso de cultivos de cobertura, sin labranza, rotación de cultivos y otras protecciones o “*mulching*”, la problemática de la erosión puede agravarse sin control (Nangia *et al.*, 2010; Bhardwaj and Kendra, 2013).

La profundidad efectiva del suelo en la parcela (Categoría III) y los indicadores aplicados (III_1 y III_2) son pertinentes también en este caso, ya que es una variable fundamental a partir de la cual se puede definir (al menos) aptitud productiva por su estrecha relación con la eficiencia en la descomposición de los residuos de cosecha incorporados en el perfil del suelo (Schoeneberger *et al.*, 2012; Zou *et al.*, 2016). Es decir, tanto la incorporación de residuos de cosecha como la profundidad del suelo son claves, entre otros, para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión. Zou *et al.* (2016) estudiaron el retorno o incorporación de la paja (de cereales) en suelos profundos en ambiente semiárido (Fumeng County, China), con una precipitación semejante a la UE (450 mm anuales), y determinaron que a 15 cm de profundidad están las condiciones mejores para su descomposición y formación de C orgánico.

En todos los casos la pendiente de las parcelas (Categoría IV) fue natural, puesto que las prácticas de manejo del suelo, como el surcado al contorno (IV_1), terracedo (IV_2) o su combinación (IV_3) son recomendables para reducir y controlar problemas de erosión (SEMARNAT-CONAFOR, 2007; Şensoy y Kara, 2014; Khaledi *et al.*, 2016) y para incrementar la disponibilidad de agua para mejorar la productividad agrícola (Nangia *et al.*, 2010). Şensoy y Kara (2014) estudiaron la forma de la pendiente (uniforme, cóncava y convexa), encontraron que la pendiente uniforme, como la que predomina en la UE (1 a 5 %), para suelos de textura fina y poco profundos (5 a 30 cm), tuvo máximos de producción de sedimentos entre 3.1 y 5.5 t ha⁻¹; estos valores coinciden con los de López-Santos *et al.* (2012) en el norte de Durango, México.

El agua (Categoría V) y los indicadores aplicados (V_1 y V_2), igual que los anteriores, fue pertinente, ya que debido al déficit hídrico para cultivos como el

profile (Schoeneberger *et al.*, 2012; Zou *et al.*, 2016). That is, both the incorporation of crop residues and soil depth are key, among others, for the evaluation of susceptibility to erosion. Zou *et al.* (2016) studied the return or incorporation of straw (cereals) into deep soils in a semi-arid environment (Fumeng County, China), with a precipitation similar to the SU (450 mm annually) and determined that at 15 cm depth there are the best conditions for decomposition and formation of organic C.

In all cases, the slope of the plots (Category IV) was natural, since soil management practices such as contour furrowing (IV_1), terraced (IV_2) or their combination (IV_3) are recommended to reduce and control problems of erosion (SEMARNAT-CONAFOR, 2007; Şensoy and Kara, 2014; Khaledi *et al.*, 2016) and to increase the availability of water in order to improve agricultural productivity (Nangia *et al.*, 2010). Şensoy and Kara (2014) studied the shape of the slope (uniform, concave and convex) and found that uniform slope, such as that prevailing in the SU (1 to 5%), for fine textured shallow soils (5 to 30 cm), had maximum sediment production levels between 3.1 and 5.5 t ha⁻¹; these values coincide with those by López-Santos *et al.* (2012) in the north of Durango, Mexico.

Water (Category V) and applied indicators (V_1 and V_2), just like the previous ones, were relevant because due to the water deficit for crops like maize and some forages that do not thrive with rains such as those regularly occurring in the SU (≤ 450 mm); so to increase the availability of water the structures of conduction, diversion and land distribution are indispensable for successful crops.

Rashid *et al.* (2016) showed that through terracing in agricultural lands located in a semi-arid climate in Pakistan (33.55° N, 72.58° E) moisture availability improved by 16 %, sediment yield decreased as well as nutrient loss, leading to a 20 % increase of wheat production.

CONCLUSIONS

The present hypothesis is accepted since the procedure described allowed to discover, with little more than half of the indicators used, (52 %), that the anthropic action on the utilitarian-extractive type of soil resource predominates over the conservationist. Evidence showed that the SU farmers do not carry out

maíz y algunos forrajes que no prosperan con lluvias como las que se presentan regularmente en la UE (≤ 450 mm). Así, para aumentar la disponibilidad de agua las estructuras de conducción, desvío y distribución parcelaria son indispensables para los cultivos exitosos. Rashid *et al.* (2016) demostraron que mediante el terracedo en terrenos agrícolas ubicados en un clima semiárido en Pakistán (33.55° N, 72.58° E), se mejoró la disponibilidad de humedad en 16 %, disminuyó la producción de sedimentos y la pérdida de nutrientes con aumento de 20 % en la producción de trigo.

CONCLUSIONES

La hipótesis planteada se acepta, ya que el procedimiento descrito permitió identificar, con poco más de la mitad de los indicadores utilizados, que el sentido de la acción antrópica sobre el recurso edáfico de tipo utilitario-extractivo predomina sobre el conservacionista. Las evidencias mostraron que los agricultores de la UE no realizan prácticas continuas de protección y conservación, como terracedo, surcado al contorno o su combinación, o incorporación de residuos de cosecha, de sus propios terrenos. En todo caso, los agricultores probablemente están más interesados en aprovechar el agua de las escorrentías de las lluvias de temporada, por obras pequeñas de desviación y conducción parcelaria.

Las seis categorías (I) y los 15 indicadores (x) revelaron aspectos críticos de la problemática de la erosión hídrica, como la erosividad de la lluvia sobre el suelo desnudo, formación de escorrentías y manejo del suelo. Esto demuestra que el procedimiento es factible para generar información categórica que permita reforzar las áreas prioritarias para justificar la implementación de prácticas de recuperación y restauración de tierras, y retroalimentar evaluaciones basadas en modelación, como USLE y RUSLE.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer de igual forma por el apoyo financiero por parte de la Universidad Autónoma Chapingo (PC: 166005003) y el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP), en el contexto del proyecto “Emisión y captura de CO₂ debido a erosión hídrica y prácticas de conservación de suelo en agricultura de ladera”

continuous protection and conservation practices, such as terracing, contouring or their combination, or the incorporation of crop residues from their own land. In any case, farmers are likely to be more interested in tapping the water from runoff from seasonal rains for minor deviation and plot works.

The six categories (I) and 15 indicators (x) revealed critical aspects of the problem of water erosion, such as rainfall erosivity on bare soil, runoff formation and soil management. This demonstrate that the procedure is feasible to generate categorical information in order to reinforce priority areas, justify the implementation of land reclamation and restoration practices and feedback modeling-based assessments such as USLE and RUSLE.

—End of the English version—

---*---

(No. SIGI: 10362732905) Los autores desean agradecer de igual forma por el apoyo financiero por parte de la Universidad Autónoma Chapingo (PC: 166005003) y el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP), en el contexto del proyecto “Emisión y captura de CO₂ debido a erosión hídrica y prácticas de conservación de suelo en agricultura de ladera” (No. SIGI: 10362732905)

LITERATURA CITADA

- Bautista-Zúñiga F., J. Jiménez-Osornio, J. Navarro-Alberto, A. Manu y R. Lozano. 2003. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra* 21: 1-11.
- Bhardwaj R. L., and K. V. Kendra. 2013. Effect of mulching on crop production under rainfed condition. A review. *Agri. Rev.* 34: 188-197.
- Cohen J. A. 1960. Coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Meas.* 20: 37-46.
- CONAFOR-UACH (Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo). 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Zapopan, Jalisco, México.
- Doi R. and S. L. Ranamukhaarachchi. 2007. Soil colour designation using Adobe PhotoshopTM in estimating soil fertility restoration by *Acacia auriculiformis* plantation on degraded land. *Curr. Sci.* 92: 1604-1609.
- Feng Q., J. Gong, J. Liu and Y. Li. 2015. Flood mapping based on multiple endmember spectral mixture analysis and

- random forest classifier: The case of Yuyao, China. *Remote Sens.* 7: 12539-12562.
- Garrido, A. y H. Cotler. 2010. Degradación de suelos en las cuencas hidrográficas de México. In: H. Cotler A., A. Garrido Pérez, N. Luna González, C. Enríquez Guadarrama y M. L. Cuevas Fernández (eds.). *Las cuencas hidrográficas de México, diagnóstico y priorización*. PLURALIA. México, D. F. pp: 104-107.
- Heo J., J. Yu, J. R. Giardino, and H. Cho. 2015. Water resources response to climate and land-cover changes in a semi-arid watershed, New Mexico, USA. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 26: 463-474.
- INEGI, 2007. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional). http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_seriei.aspx (Consulta: mayo, 2015).
- INEGI, 2010. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 Serie V, capa unión. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/ususuelo/Default.aspx>. (Consulta mayo, 2015).
- INEGI, 2015. Continuo de Elevaciones Mexicano, CEM-3.0, 2015. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx>. (Consulta mayo, 2015).
- IUSS (Working Group) WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome. 203 p.
- Khaledi A. D., V. Homayounfar, and S. H. Sadeghi. 2016. The impact of standard preparation practice on the runoff and soil erosion rates under laboratory conditions. *Solid Earth* 7: 1293-1302.
- Klingebiel, A.A. & Montgomery, P.H. 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, Washington, DC: US Government Printing Office. 21 p.
- Lane Charles R., Hongxing Liu, Bradley C. Autrey, Oleg A. Anenkhonov, Victor V. Chepinoga, and Qiusheng Wu. 2014. Improved wetland classification using eight-band high resolution satellite imagery and a hybrid approach. *Remote Sens* 6: 12187-12216.
- López-Santos A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? *Terra Latinoam.* 34: 239-249.
- López-Santos A., I. Sánchez-Cohen, G. Esquivel-Arriaga, and J. L. González-Barrios. 2012. Soils vulnerability assessment for the State of Durango, Mexico within the context of climate change. *Rev. Agrociencia Uruguay* 3: 117-127.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC. 155 p.
- Mzezewa J., and L. D. Rensburg. 2011. Effects of tillage on runoff from a bare clayey soil on a semi-arid ecotope in the Limpopo Province of South Africa. *Water SA* 37: 165-172.
- Nangia V., M. Ahmad, D. Jiantao, Y. Changrong, G. Hoogenboom, M. Xurong, H. Wenqing, L. Shuang, and L. Qin. 2010. Modeling the field-scale effects of conservation agriculture on land and water productivity of rainfed maize in the Yellow River Basin, China. *Int J Agric. Biol. Eng.* 3: 1-13.
- Ramírez-Carballo, H., A. Pedroza-Sandoval, J. G. Martínez-Rodríguez, y R. D. Valdez-Cepeda. 2011. Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Rev. Chapingo Ser. Cien. Forestales Amb.* 17: 1-9.
- Rashid, M., O. Rehman, S. Alvi, R. Kausar and M. I. Akram. 2016. The effectiveness of soil and water conservation terrace structures for improvement of crops and soil productivity in rainfed terraced system. *Pak. J. Agri. Sci.* 53: 241-248.
- Saldaña R. N., J. Á. G. Flores, S. B. García, A. S. Zavala y R. G. Kristian. 2012. Discriminación y estimación del área con labranza de conservación empleando imágenes SPOT 4. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 847-862.
- Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E.C. Benham and W. D. Broderson. 2012. *Field Book for describing and sampling soils*, versión 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Centre. Lincoln, NE. 300 p.
- Segundo I., y G. Bocco. 2012. Usando datos censales desde un enfoque geográfico. El caso del despoblamiento de pequeñas localidades rurales en México (2000-2010). *Realidad, datos y espacio. Rev. Int. Est. Geog.* 3: 114-131.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2011. *Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Şensoy H., and Kara Ö. 2014. Slope shape effect on runoff and soil erosion under natural rainfall conditions. *iForest* 7: 110-114.
- Towhid O. K. 2013. *Soils. Principles, Properties and Management*. First ed. Ed. SPRINGER, Dordrecht Heidelberg New York London. 286 p.
- USGS (United States Geological Service). 2015. *LandSat missions. Landsat Project Description*. <http://landsat.usgs.gov/index.php>. (Consulta septiembre, 2015).
- van Vliet J., A. K. Bregt and A.Hagen-Zanker. 2011. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecol. Model.* 222: 1367-1375.
- Zou H., X. Ye, J. Li, J. Lu, Q. Fan, N. Yu, Y. Zhang, X. Dang and Y. Zhang. 2016. Effects of straw return in deep soils with urea addition on the soil organic carbon fractions in a semi-arid temperate cornfield. *PLoS ONE* 11: 1-10.
- Zubelzu S. y Hernández. 2015. Método de valoración de paisajes forestales basado en el uso de atributos estéticos como variables explicativas de las preferencias. *Madera Bosques* 21: 45-62.