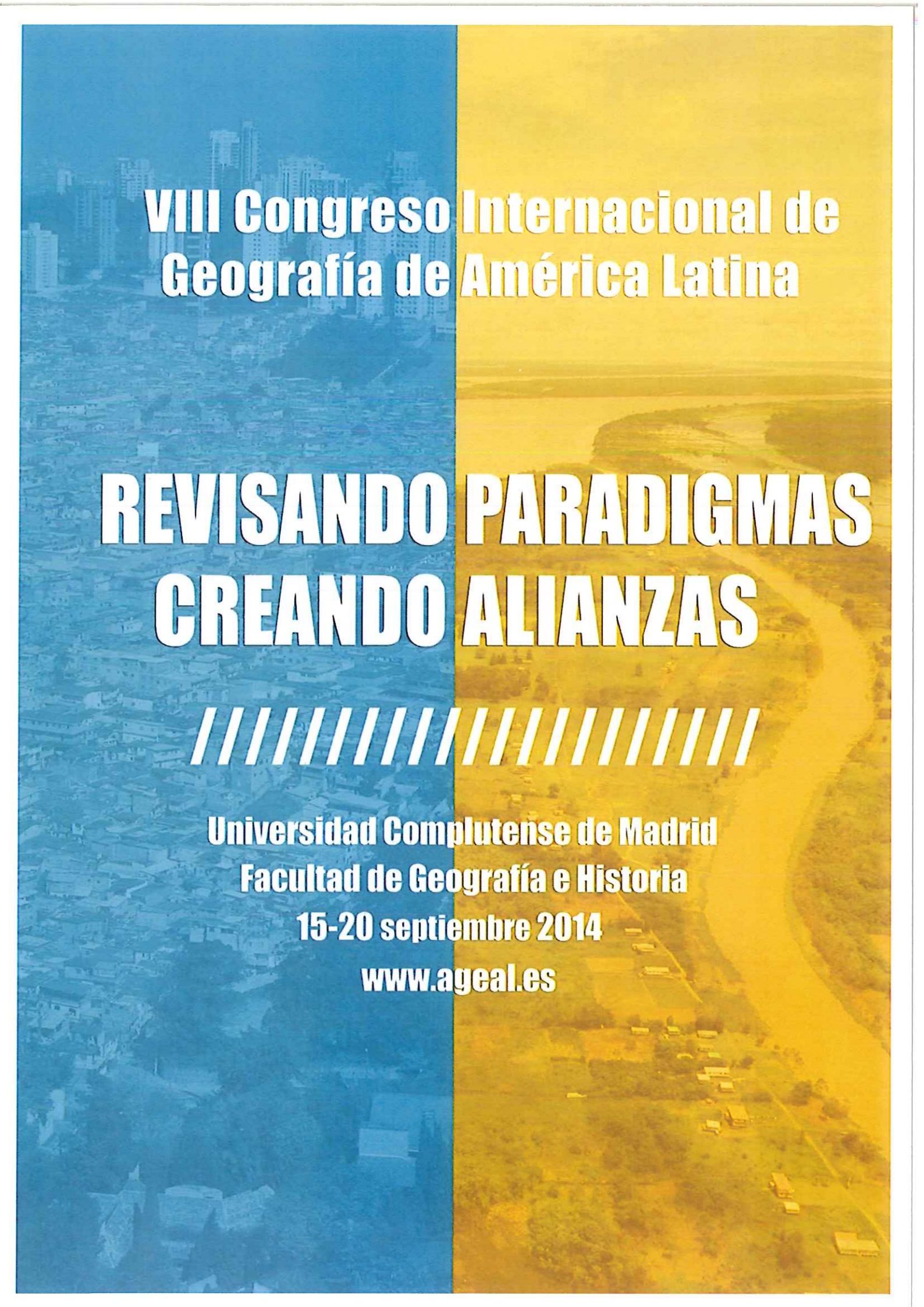




VIII Congreso Internacional de Geografía de América Latina

REVISANDO PARADIGMAS CREANDO ALIANZAS



Universidad Complutense de Madrid

Facultad de Geografía e Historia

15-20 septiembre 2014

www.ageal.es

“REVISANDO PARADIGMAS, CREANDO ALIANZAS”

LIBRO DE ACTAS DE CONGRESO

15-20 DE SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

COORDINA: COMISIÓN CIENTÍFICO-ORGANIZADORA

José Carpio Martín (Universidad Complutense de Madrid)

Francisco Cebrián Abellán (Universidad de Castilla-La Mancha)

M^a del Carmen Mínguez García (Universidad Complutense de Madrid)

Oscar González Quiroz (Universidad de Alcalá/Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León)

© de los textos e ilustraciones: Los Autores

© de la edición: AGE-Grupo América Latina

1^aed. Tirada: 250 ejemplares

I.S.B.N: 978-84-617-1632-6

D.L.: M-25486-2014

Diseño de la cubierta: Gustavo Romanillos Arroyo

Diseño y maquetación: Oscar González Quiroz

23. SENSIBILIZAR SOBRE EL PROBLEMA DE LA EROSIÓN EN FINCAS AGRÍCOLAS Y GANADERAS DE MONTAÑA EN CENTROAMÉRICA: RESULTADOS DE LA FASE DE INVESTIGACIÓN.

Rafael Blanco Sepúlveda
Departamento de Geografía
Universidad de Málaga (España)
rblanco@uma.es

Amilcar Aguilar Carrillo
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica),
aaguilar@catie.ac.cr

RESUMEN

La presión demográfica que soportan muchas áreas de montaña de Centroamérica ha alterado el sistema agrícola tradicional, que había logrado mantener desde tiempos ancestrales el frágil equilibrio medioambiental de estos espacios. Los cambios en los usos agrarios han provocado un aumento de la vulnerabilidad a la degradación y ha favorecido que la erosión hídrica del suelo sea actualmente uno de los principales problemas medioambientales de las montañas tropicales centroamericanas, donde se ha sustituido el bosque por los usos agropecuarios. Las escuelas de campo (ECA) es la metodología de trabajo que se va a utilizar para transmitir a los productores y productoras la gravedad de este proceso de degradación en sus fincas, así como las causas, consecuencias y las medidas de control. La puesta en marcha de esta metodología ha requerido, como paso previo a su constitución, una fase inicial de investigación en las áreas donde se van a implementar con el objetivo de analizar el estado erosivo y las pérdidas de suelo y determinar los factores de erodabilidad (ambientales y de manejo). Los resultados obtenidos indicaron que los sistemas agroforestales de café y cacao y la ganadería bovina extensiva fueron los usos del suelo con un control más efectivo de la erosión. Por el contrario, los cultivos que presentaron las tasas de erosión más elevadas fueron el maíz, el frijol y la arveja, desaconsejándose tan sólo este último. Los factores de erodabilidad fueron la cubierta vegetal, la pendiente y el sistema de cultivo, a partir de los cuales se han establecido las buenas (BPA) y malas (MPA) prácticas para cada uno de los cultivos, lo que permitirán controlar la erosión y mejorar la sostenibilidad medioambiental.

Palabras claves: Sensibilización, Erosión hídrica, Erodabilidad, Montañas, Centroamérica

INTRODUCCIÓN

La agricultura tradicional de las montañas tropicales de Centroamérica se basó en la rotación de las parcelas de cultivo, en el barbecho forestal como método de recuperación de la fertilidad del suelo, y en el no laboreo, ya que la siembra se realizaba con *espeque* (bastón con punta) al no conocerse el arado hasta la etapa colonial. Las claves para explicar la sostenibilidad de esta agricultura de montaña fueron: a) la escasa presión demográfica que soportaban estas áreas, y b) había una amplia disponibilidad de tierras, lo que permitió una agricultura itinerante de prolongados barbechos forestales para recuperar la fertilidad del suelo.

Las condiciones actuales de estos espacios montañosos son bien distintas. La fuerte presión demográfica que sufren en la actualidad muchas de estas áreas ha alterado el sistema agrícola tradicional: a) la rotación de los campos de cultivo ha sido sustituida por la agricultura sedentaria, b) el barbecho forestal ha sido reemplazado por la fertilización inorgánica que, aunque es capaz de satisfacer las necesidades de los cultivos, no compensa las pérdidas paulatinas de materia orgánica del suelo, lo que ha tenido importantes consecuencias sobre la fertilidad natural y las propiedades físicas, y ha aumentado la vulnerabilidad del suelo a la erosión; c) la siembra con sistemas de no-laboreo ha sido sustituida, en muchos casos, por el laboreo con arado, lo que ha alterado las propiedades físicas del suelo y ha favorecido la mineralización de la materia orgánica, con las mismas consecuencias anteriores; d) la incorporación de cultivos destinados a la exportación, con unos requisitos de manejo específicos, poco o nada adaptados a las condiciones ambientales de estas áreas; y e) la deforestación para la puesta en cultivo de nuevas tierras ha eliminado la cubierta vegetal protectora.

Todos estos cambios han provocado un grave desequilibrio medioambiental y un aumento de la vulnerabilidad a la degradación, lo que ha provocado que la erosión hídrica del suelo sea actualmente uno de los principales problemas medioambientales de las montañas tropicales centroamericanas, donde se ha sustituido el bosque por los usos agropecuarios (EL-SWAIFY, 1997; NYSSSEN et al., 2009). Esta actividad es el medio de vida de muchas familias de pequeños y medianos productores/as agropecuarios que viven en estos espacios montañosos y cuya sostenibilidad se ve amenazada por los importantes procesos de degradación de los recursos y, en especial, en el actual contexto de cambio climático.

Las escuelas de campo (ECA), bajo la temática de sensibilización sobre el problema de la erosión, es la metodología de trabajo que se va a utilizar para reconducir el proceso productivo de las áreas de montaña de Centroamérica hacia fórmulas sostenibles. El objetivo es transmitir a los productores agropecuarios la gravedad de este proceso de degradación en sus fincas, así como las causas, consecuencias y las medidas de control. La ECA es una metodología de aprendizaje grupal que fue desarrollada por la FAO y aplicada por primera vez en 1989. Se basa en crear un ambiente de aprendizaje donde los participantes puedan compartir, aprender y aplicar experiencias y conocimientos sobre el fin para las que fueron creadas (BRAUN y DUVESKOG, 2008).

La ECA en materia de sensibilización sobre el problema de la erosión ha requerido, como paso previo a su constitución, una fase inicial de investigación en las áreas donde se van a implementar para valorar la gravedad del problema y determinar las medidas y técnicas apropiadas de control de la erosión adaptadas a cada caso. Se ha huido de las generalidades y especialmente de las medidas y técnicas impuestas bajo la errónea convicción de que el éxito en determinadas áreas del planeta debe asegurar el mismo resultado en otras. Esta ha sido la causa del fracaso de muchos proyectos que han abordado este problema introduciendo

medidas exógenas, poco o nada adaptadas a los espacios donde se iban a implementar.

La fase de investigación se inició en 2008 en el marco de una estancia de investigación de financiación nacional y continuó a partir de 2011 con tres proyectos de financiación autonómica. Las acciones de estos proyectos formaron parte de una de las líneas de actuación de otros tres proyectos que la organización socia en Centroamérica (Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE) ha desarrollado y sigue haciéndolo en el área de estudio (cuadro 1).

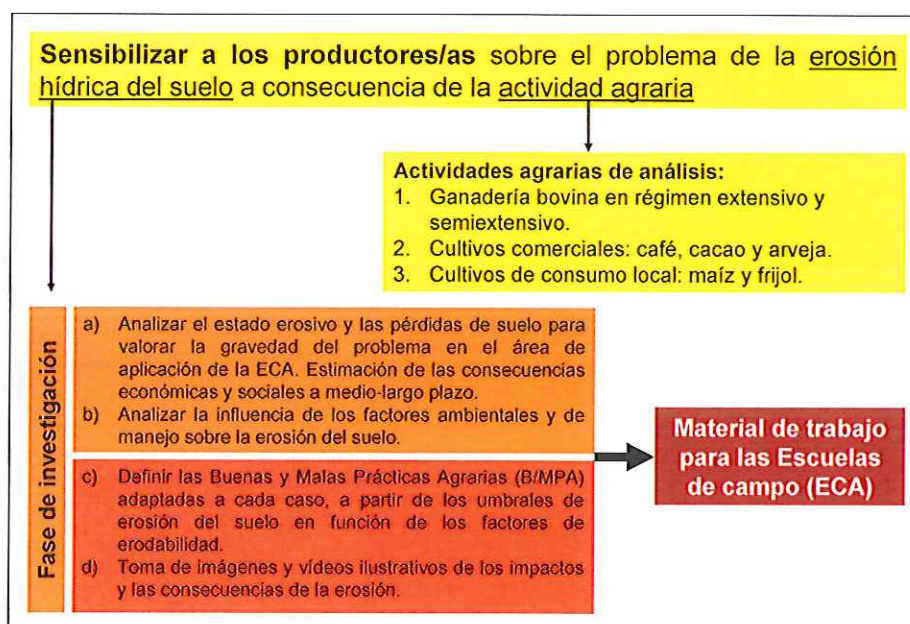
Cuadro 1. Proyectos desarrollados y en curso de sensibilización sobre la erosión hídrica del suelo en los sistemas agrarios de montaña de Centroamérica.

Proyectos de financiación internacional. Grupo CATIE	Proyectos de financiación nacional. Grupo UMA
1. (2004-2008) Desarrollo participativo de Usos Alternativos Sostenibles para Pasturas Degradadas en Centroamérica. Financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Noruega (MFA/Norway). 1. (2009-2012) MAP1. Manejo Sostenible de Territorios Agropecuarios en Mesoamérica (MESOTERRA). Financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Noruega, Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia y la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional. 3. (2013-2016) MAP2. Manejo Sostenible de Territorios Agropecuarios en Mesoamérica (MESOTERRA). Financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Noruega (MFA/Norway).	1. (2008) Evaluación de la vulnerabilidad del suelo a la degradación por pastoreo bovino en montañas tropicales húmedas. Caso de dos fincas ganaderas en Olanchito (Yoro, Honduras). Financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Programa José Castillejo de movilidad). 2. (2011-2013) Aplicación de la metodología de las Escuelas de Campo (ECA) para sensibilizar a los pequeños agricultores y ganaderos de las montañas tropicales de Centroamérica sobre los problemas de degradación del suelo. Aplicación en la región del Trifinio (Honduras-Guatemala) y en los municipios de El Cuá y Waslala (Nicaragua). Financiado por la Universidad de Málaga. 3. (2013-2014) Diseño de sistemas agrícolas sostenibles y buenas prácticas agrarias (BPA) para reducir la erosión y mitigar las repercusiones del cambio climático en comunidades de montaña de Nicaragua. Financiado por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID). 4. (2013-2014) Diagnóstico medioambiental de fincas agrarias para establecer los procesos, las causas de la erosión y las medidas de control. Aplicación en el municipio de Patzún (Chimaltenango, Guatemala). Financiado por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID).

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica). UMA: Universidad de Málaga (España)

El objetivo de este trabajo es exponer los resultados de las investigaciones realizadas, en las cuales se han abordado los siguientes aspectos (figura 1): a) analizar el estado erosivo y las pérdidas de suelo en los sistemas agrarios representativos de las zonas de estudio; b) analizar la influencia de los factores ambientales y de manejo (factores de erodabilidad) sobre la erosión del suelo; c) definir las Buenas y Malas Prácticas Agrarias (B/MPA) adaptadas a cada caso, lo que, junto con las imágenes y videos ilustrativos de la erosión, constituirán el material de trabajo para desarrollar las ECA; d) validar la metodología de evaluación del estado erosivo del suelo que se ha diseñado ad hoc.

Figura 1. Objetivos de la fase de investigación del proyecto de sensibilización sobre la erosión hídrica del suelo en los sistemas agrarios de montaña de Centroamérica.



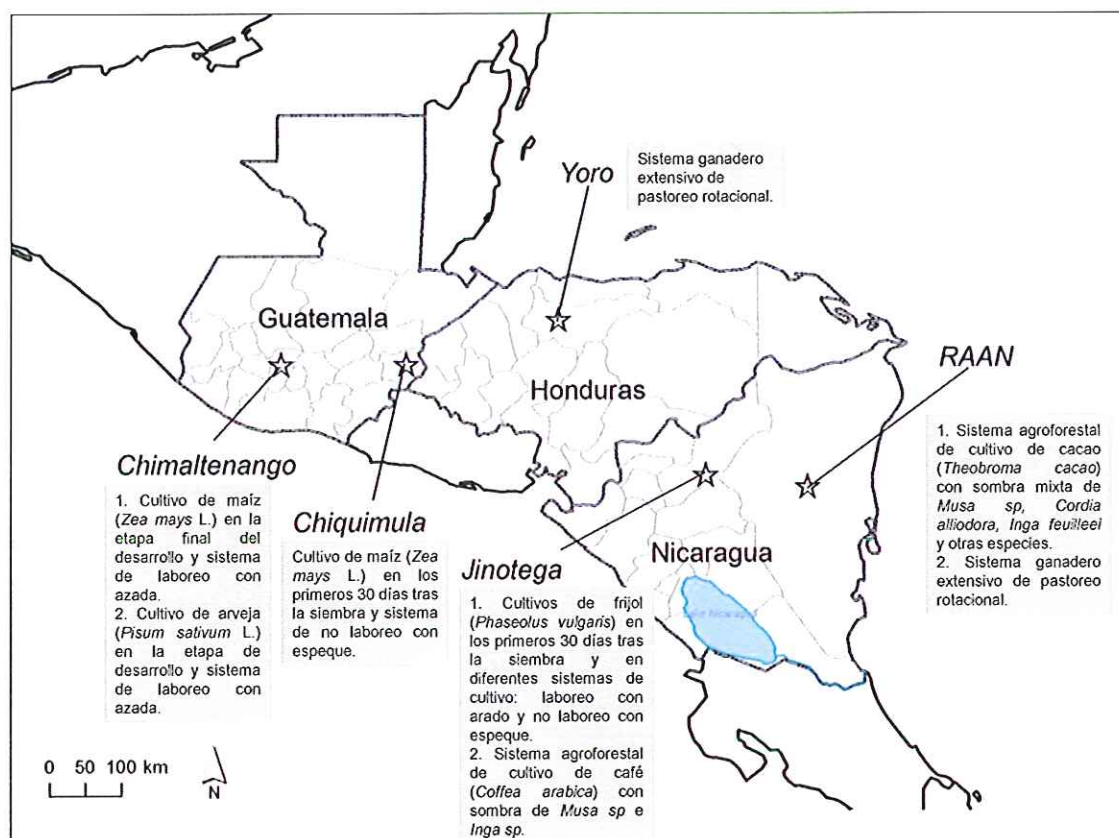
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las investigaciones han contemplado los sistemas agrarios representativos de las montañas de Guatemala, Honduras y Nicaragua, concretamente se realizaron cuatro estudios en cultivos de autoconsumo (dos en maíz y dos en frijol), tres en cultivos comerciales (café, cacao y arveja) y dos en ganadería bovina de régimen extensivo (figura 2).

Se analizaron los factores físicos y humanos que podían tener algún tipo de influencia sobre la erosión. En todas las investigaciones realizadas se determinó la pendiente, la cobertura vegetal superficial y aérea (estratos de sombra en los sistemas agroforestales) y las características y propiedades del suelo (textura, materia orgánica, carbonato cálcico, nitrógeno total, bases de cambio, capacidad de intercambio catiónico y tasa de saturación en bases).

Figura 2. Localización de las áreas de estudio.



De forma particular, los sistemas agrarios analizados presentaron las siguientes características de especial interés por su posible influencia sobre la erosión:

- El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se analizó en dos estadios vegetativos y en dos sistemas de cultivo. El primer estudio se realizó en los primeros 30 días tras la etapa de siembra, concretamente desde finales de mayo hasta principios de junio, y correspondió a un sistema de no laboreo con espeque. El segundo se realizó en la etapa final del desarrollo del cultivo, desde finales de octubre hasta principios de diciembre, y correspondió a un sistema de cultivo de laboreo con azada.
- El frijol (*Phaseolus vulgaris*) se analizó en dos sistemas de cultivo: laboreo con arado y no laboreo con espeque, manteniendo constante el estadio vegetativo, que fue en los primeros 30 días tras la siembra.
- El cultivo de café (*Coffea arabica*) corresponde a un sistema agroforestal con sombra de *Musa sp* e *Inga sp*., que varió desde una combinación de *Musa sp* (>75%) – *Inga sp* (<25%) hasta una sombra exclusivamente de *Inga sp*. Se analizó la influencia de la cobertura y la altura de los estratos de sombra arbórea.
- El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) corresponde a un sistema agroforestal con sombra de diversas especies, banano (*Musa sp*), laurel

(*Cordia alliodora*) y guaba (*Inga feuillee*), entre otras. Se analizó también la influencia de la cobertura y la altura de los estratos de sombra arbórea, junto con los tipos de podas realizados en los árboles del cacao.

- e) La arveja (*Pisum sativum* L.) utiliza el sistema de laboreo con azada y el muestreo se realizó en la etapa de desarrollo del cultivo.
- f) El sistema ganadero es extensivo y está compuesto por una cabaña bovina de doble aptitud (carne-leche) con animales que provienen del cruce entre las razas europeas (sobre todo Pardo suizo y Holstein) y las Cebuinas asiáticas, lo que ha permitido crear unos animales con una buena adaptación a los climas cálidos y húmedos tropicales y una aceptable producción de leche y carne. El sistema de pastoreo es rotacional. Se analizó la carga ganadera acumulada y el tipo de pasto: natural (*Paspalum notatum*, *ischaemun indicum*) y mejorado (*Brachiaria brizantha*, *Brachiaria brizantha* cv. *Pasto Toledo*, *Braquiaria brizantha* var *Marandu*).

El clima es tropical húmedo, aunque con una marcada diferencia de precipitaciones según las zonas de estudio. Los registros más elevados superan los 2000 mm y se alcanzan en El Cuá (Jinotega, Nicaragua) con 2770 mm, y Olanchito (Yoro, Honduras) con 2042 mm. Los registros más reducidos giran en torno a los 1000 mm. La cuenca del río Torjá (Chiquimula, Guatemala) presenta unas precipitaciones de 1224 mm en los tramos más elevados, que se reducen hasta los 750 mm en la parte baja de la cuenca. Santa Apolonia (Chimaltenango, Guatemala) presenta una precipitación media de 962 mm. Por el contrario, Patzún, en el mismo departamento y a escasa distancia, presenta unas precipitaciones que siguen un gradiente altitudinal (1322, 2982 y 3284 mm). Los suelos de las áreas de estudio se han formado en su mayoría sobre un sustrato litológico ígneo. Sus características son variadas. La textura suele ser franca o franco-arcillosa, la materia orgánica se mantiene en unos niveles bastantes altos, aunque varía entre el 3 y el 10%. La capacidad de intercambio catiónico alcanza unos valores que se pueden considerar medio-altos (29,8 meq 100 gr⁻¹ en la cuenca del río Torjá) y excepcionalmente llegan a alcanzar valores considerablemente elevados (46,1 meq 100 gr⁻¹ en el Cuá), sin embargo la mayor parte de los suelos se encuentran desaturados (28,3% en el Cuá, 51.1% en el cuenca del río Torjá), lo que denota un importante proceso de lavado de bases que se acentúa a medida que aumentan las precipitaciones.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL SUELO

La metodología de estudio de la erosión del suelo consta de dos tipos de análisis: a) análisis del estado erosivo del suelo, en el que se contemplaron todos los tipos de erosión (salpicadura, laminar, surcos y cárcavas) y los resultados se expresaron en porcentaje de superficie afectada por los diferentes procesos superficiales que se han observado en el suelo, b) análisis de las pérdidas de suelo, en el que se contempló la erosión en forma de surcos y cárcavas y los resultados se expresaron en volumen (m³ ha⁻¹).

El análisis del estado erosivo del suelo es una adaptación del método de observación cualitativa de la presencia/ausencia de indicadores visuales y número y tamaño de los mismos (STOCKING y MURNAGHAN, 2001; MUTEKANGA et al., 2010). La adaptación consistió en el uso de un método de muestreo para valorar cuantitativamente el estado erosivo del suelo. Los indicadores visuales contemplados en el análisis se han diferenciado utilizando códigos para agilizar la toma de datos durante el proceso de muestreo (cuadro 2). El índice (letra mayúscula) indica el tipo de proceso que afecta al suelo y el subíndice proporciona información complementaria: existencia de erosión, tipo de erosión, tipo de cubierta vegetal protectora, etc.

Cuadro 2. Indicadores visuales de los procesos superficiales que afectaron al suelo en los usos agrarios de las montañas de Centroamérica.

E. Erosión hídrica del suelo 1. (Ei) Erosión por salpicadura (impacto de la lluvia) 2. (Es) Erosión laminar 3. (Er) Erosión en surcos 4. (Eg) Erosión en cárcavas
T. Alteración mecánica del suelo por herramienta (machete, arado, otros) afectada por erosión o susceptible de erosión 1. (Tes) Suelo alterado por herramienta susceptible de erosión (no se aprecia en este momento) 2. (Ti) Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión por salpicadura (impacto lluvia) 3. (Ts) Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión laminar 4. (Tr) Suelo alterado por herramienta y afectado por erosión en surcos
P. Alteración mecánica del suelo por pisoteo afectada por erosión o susceptible de erosión 1. (Pes) Suelo alterado por pisoteo susceptible de erosión (no se aprecia en este momento) 2. (Pi) Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión por salpicadura (impacto lluvia) 3. (Ps) Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión laminar 4. (Pr) Suelo alterado por pisoteo y afectado por erosión en surcos
D. Deposición de suelo afectada por erosión o susceptible de erosión 1. (Des) Deposición de suelo susceptible de erosión (no se aprecia en este momento) 2. (Di) Deposición de suelo afectado por erosión por salpicadura (impacto lluvia) 3. (Ds) Deposición de suelo afectado por erosión laminar 4. (Dr) Deposición de suelo afectado por erosión en surcos
N. No erosión 1. (Nv) No existe erosión bajo cubierta vegetal viva 2. (Nr) No existe erosión bajo cubierta de residuos vegetales 3. (Ns) No existe erosión en el surco de arado con pendiente nula
O. Otros 1. (Or) Rocas 2. (Oa) Animales domésticos: huellas, excrementos, cadáveres, otros.

Los primeros cuatro tipos corresponden con casos de erosión. Se ha diferenciado la erosión que afecta directamente al suelo sin alteración (E), la que afecta al suelo que previamente ha sido perturbado por manejos agrícolas con herramientas (T), principalmente durante las labores de preparación del terreno con arado para la siembra y deshierbe, o por pisoteo (P) y la erosión que afecta a los procesos de deposición de los materiales de erosión (D). Se ha realizado esta diferenciación para analizar qué influencia tienen estas acciones (T y P) y procesos (E y D) sobre la dinámica erosiva. Especial interés tienen los tipos T y P. El primero, porque el arado y el deshierbo con herramienta (diferentes tipos de machetes) rompen la estructura original de la superficie del suelo a una profundidad entre 1 y 3 cm, lo que favorece la erodabilidad, como se indicó anteriormente. El segundo, porque el pisoteo por el tránsito de personas altera la estructura y ciertas propiedades físicas del suelo, como la porosidad y la capacidad de infiltración, lo que favorece la erosión. El tipo N distingue el suelo no afectado por erosión y diferencia el suelo protegido por la cubierta vegetal viva y muerta y el suelo con pendiente nula en el fondo del surco de arado. Y por último, el tipo otros (O) agrupa a todos los aspectos del suelo que no tienen relación con la erosión y que pueden estar presentes en la superficie del suelo: rocas, huellas o excrementos de animales, etc.

El método de muestreo fue mediante cuadrículas o transectos. El primero se utilizó para los cultivos herbáceos (maíz y frijol) que no presentaban influencia de sombra por los estratos de vegetación superiores y el marco de plantación era regular. El segundo se utilizó para los cultivos de café y cacao con sistema agroforestal, arveja y ganadería extensiva, para asegurar que el muestreo se realizaba en todas las situaciones presentes en la parcela, debido a que en los casos de presencia de estratos vegetales de cobertura superior, ésta no se distribuía de manera homogénea; o como en los casos de cultivos herbáceos, como la arveja, con un marco de plantación, donde las calles de cultivo presentan una elevada distancia.

Las pérdidas de suelo se estimaron mediante el método de análisis de la erosión por mediciones volumétricas de surcos y cárcavas (HUDSON, 1993). El muestreo se realizó utilizando el método ACED (Assessment of Current Erosion Damage) de Herweg (1996), que consiste en la realización de mapas esquemáticos de localización de los surcos y cárcavas y medición de la longitud, anchura y profundidad de los mismos para estimar las pérdidas de suelo.

Los resultados obtenidos se analizaron utilizando las técnicas estadísticas de análisis de varianza para muestras no paramétricas (test de Kruskal-Wallis y de Mann-Whitney), el análisis de correlación de Spearman y el análisis de regresión lineal múltiple (método stepwise). Se utilizó el software SPSS 22.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron la existencia de importantes diferencias de erosión en función de los usos agrarios. El sistema agroforestal de cultivo de café y sombra de *Inga sp* y *Musa sp*, con tan sólo el 10,4±1,2% de la superficie afectada

por erosión, la ganadería bovina extensiva, con el $18\pm1,4\%$ de la superficie, y el cacao, con el $24,1\pm1,3\%$, fueron las actividades agrarias que presentaron un mejor control de la erosión.

Le siguieron a gran distancia el resto de los cultivos. El maíz presentó unas tasas de erosión muy elevadas en los dos estadios vegetativos muestreados. El maíz en los primeros 30 días tras la etapa de siembra y con sistema de cultivo de no laboreo (espeque) presentó una superficie afectada por erosión del $76,5\pm7,3\%$. Se esperaba un control más efectivo de la erosión en el sistema de no laboreo, pero se ha podido observar que la protección que ha proporcionado la conservación de la estructura del suelo no ha sido suficiente para controlar la erosión. El muestreo se realizó inmediatamente después de la siembra, lo que corresponde con el momento más vulnerable a la erosión debido a la escasa cobertura vegetal. Por lo tanto, son necesarias en estos cultivos otras medidas, como una mayor cobertura vegetal protectora de la superficie del suelo frente al impacto de la lluvia. El maíz en la etapa final del desarrollo del cultivo y con sistema de manejo de laboreo con azada presentó una superficie media afectada por erosión del $67,5\pm3\%$, un valor aun considerablemente elevado. Sin embargo, se ha logrado reducir un 9% la superficie afectada debido a la mayor cobertura vegetal en esta etapa del cultivo, que proporcionó una mayor protección frente a la erosión.

El cultivo de frijol, analizado en el estadio vegetativo tras los primeros 30 días de siembra, presentó un comportamiento contrastado entre los sistemas de cultivo. El sistema de laboreo con arado presentó la mayor tasa de erosión de toda la serie de cultivos analizados, con el $80,8\pm2,1\%$ de la superficie afectada; por el contrario, el sistema de no laboreo redujo la erosión un 28,6%, al registrar una superficie erosionada del $52,2\pm4,5\%$. Por último, el cultivo de arveja, analizado en la etapa de desarrollo de la planta, presentó una tasa de erosión también muy elevada, con el $69,9\pm5,8\%$ de la superficie afectada.

Los factores de erodabilidad de los sistemas agrarios analizados han sido tres: la cubierta vegetal, la pendiente y el sistema de cultivo. Destacó la cubierta vegetal por su influencia en el conjunto de todos los usos del suelo. Especialmente la cobertura del suelo con residuos vegetales, aunque también ha tenido una marcada influencia la cubierta vegetal viva, especialmente el pasto en el sistema ganadero extensivo y las plantas adventicias en el caso de los cultivos de maíz y arveja. La cobertura vegetal funcionó como pantalla protectora frente al impacto de la lluvia y como un obstáculo a la escorrentía superficial. Es decir, la vegetación intercepta las gotas de lluvia, altera el tamaño de las gotas y reduce o neutraliza su energía. Esta acción es de gran importancia para reducir la erosión, debido a que el impacto de la lluvia sobre el suelo descubierto destruye la estructura superficial y genera partículas sueltas y microagregados que son dispersados en la superficie. Éstas, cuando se secan, forman costras de escasa permeabilidad que deterioran las propiedades hidrológicas del suelo y favorece la escorrentía superficial. Al mismo tiempo, la cobertura vegetal reduce la velocidad de escorrentía y, por lo tanto, la competencia de arrastre de las partículas de suelo. Los resultados obtenidos en las

investigaciones que se han desarrollado ponen de manifiesto el decisivo papel que ejercen las acciones de manejo de la biomasa superficial sobre la erosión a esta escala de trabajo, lo que coincide con los resultados de Leys et al. (2010), que señalaron que la cobertura de residuos vegetales del suelo fue el factor con mayor influencia para explicar la escorrentía y la erosión a escala de finca.

El sistema de cultivo de laboreo (arado) vs no laboreo (espeque) ha tenido una marcada influencia en el cultivo de frijol. Arshad et al. (1999) y Zhang et al. (2007) explicaron las menores tasas de erosión en el sistema de no laboreo a la mayor estabilidad de la estructura y a la mayor macroporosidad de la superficie del suelo, debido a que mejoran las propiedades hidrológicas del suelo, concretamente facilitan la infiltración y reducen la escorrentía y las pérdidas de suelo. No alterar la estructura del suelo reduce la oxidación de la materia orgánica, favorece su estabilidad y la existencia de un balance positivo. Este manejo del suelo suele estar asociado a la conservación de los residuos vegetales en la superficie del suelo, lo que incrementa el contenido de carbono orgánico. La combinación de ambos manejos favorece la estabilidad de la estructura del suelo. Derpsch (1986) y Smith et al. (1992) compararon la influencia que ejercen el sistema de manejo (laboreo y no laboreo) y la cobertura vegetal del suelo para reducir la escorrentía y la erosión y señalaron que el último factor fue el que tuvo una influencia más destacada, lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

La pendiente ha tenido una influencia particular en el sistema agroforestal de cultivo de café y sombra de *Inga sp* y *Musa sp* y en el sistema ganadero extensivo. El relieve, a través de la inclinación del terreno, proporciona el escenario propicio para la existencia de erosión, debido a que favorece la escorrentía superficial. Verbist et al. (2010) observó que la pendiente fue uno de los factores más importantes que influyeron sobre la erosión en parcelas de café con diferentes sistemas de cultivo (sin sombra y agroforestal con diferentes combinaciones de sombra). La influencia de la pendiente en relación a la vulnerabilidad a la degradación de las propiedades físicas del suelo en la ganadería de montaña tropical ha sido demostrada por Blanco y Nieuwenhuyse (2011), lo que tiene una marcada influencia sobre la erosión.

Los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas se han traducido en buenas (B) (figura 3) y malas (M) prácticas agrarias (cuadro 2), asumiendo una tasa de erosión aceptable del 20%. Se trata de un valor empírico que facilita la toma de decisiones sin las dificultades de conceptos, como el "*Tolerable Soil Erosion*" que viene definido en términos de pérdida de productividad de los cultivos (WISCHMEIER y SMITH, 1978). La finalidad de las medidas establecidas en este trabajo es mejorar la planificación de la actividad agraria, desde el punto de vista de la conservación ambiental.

El cultivo de maíz requiere una cobertura vegetal que cubra el suelo en su totalidad (BPA). Para el caso del frijol, es necesario una cobertura del suelo superior al 73% (BPA) y se recomienda evitar el manejo del suelo con arado (MPA) y volver a las técnicas tradicionales de siembra con espeque, para evitar la ruptura de la

estructura natural del suelo que es más resistente a la erosión (BPA). El sistema agroforestal de cultivo de café es menos exigente y requiere una cobertura vegetal superior al 52% (BPA) y cultivar preferiblemente en laderas de pendiente inferior al 60% (BPA). El cultivo de cacao es más exigente y requiere una cobertura vegetal superior al 75%. La arveja es un cultivo que se desaconseja (MPA), debido a las elevadas tasas de erosión en todos los casos analizados. Por último, en el sistema ganadero extensivo es aconsejable mantener una cobertura de pasto y/o de residuos vegetales superior al 85 y 75%, respectivamente, preferiblemente ambas al mismo tiempo, al favorecer un control más efectivo de la erosión.

Cuadro 3. Resultados de las investigaciones sobre la erosión hídrica del suelo en los sistemas agrarios de montaña de Centroamérica.

Usos agrarios	Zona de trabajo	Balance erosivo y factores de erodabilidad del suelo	Buenas (B) / Malas (M) prácticas agrarias
Maíz en la etapa de desarrollo. Sistema de cultivo con laboreo (azada)	Patzún y Sta. Apolonia (Chimaltenango, Guatemala)	El 67,5±3,0% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=34) estaba afectada por erosión. - Cobertura vegetal (viva y residuos vegetales): $y = -10,01 + 0,64x$ ($R^2 = 0,76$; $p = 0,000$) Umbral del 140% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión	(B) Cobertura vegetal 100%
Maíz en la etapa de siembra. Sistema de cultivo de no laboreo (espeque)	Jocotán (Chiquimula, Guatemala)	El 76,5±7,3% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=13) estaba afectada por erosión. - Cobertura de residuos vegetales: $y = 116,47 - 0,91x$ ($R^2 = 0,45$; $p = 0,012$) Umbral del 106% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión	(B) Cobertura vegetal 100%
Frijol en la etapa de siembra. Sistema de cultivo con laboreo (arado)	El Cuá (Jinotega, Nicaragua)	El 80,8±2,1% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=22) estaba afectada por erosión. - No existe ningún factor de erodabilidad debido a la homogeneización de la superficie del suelo a consecuencia del uso del arado.	(M) Cultivo con laboreo (arado)
Frijol en la etapa de siembra. Sistema de cultivo de no laboreo (espeque)	El Cuá (Jinotega, Nicaragua)	El 52,2±4,5% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=16) estaba afectada por erosión. - Sistema de cultivo: se ha reducido la erosión un 28,6% en el sistema de	(B) Cultivo de no laboreo (espeque) (B) Cobertura vegetal >73%

		cultivo de no laboreo, con respecto al sistema de cultivo con laboreo. - Cobertura de residuos vegetales: $y=82,52-0,86x$ ($R^2 = 0,68$; $p = 0.000$) Umbral del 73% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión.	
Sistema agroforestal de cultivo de café y sombra de <i>Inga sp</i> y <i>Musa sp</i>	El Cuá (Jinotega, Nicaragua)	El 10,4±1,2% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=36) estaba afectada por erosión. - Cobertura de residuos vegetales: $y=41,13-0,41x$ ($R^2 = 0,66$; $p = 0.000$) Umbral del 52% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión. - Pendiente de ladera: $y=30,69-0,32x+0,1pend$ ($R^2 = 0,70$; $p = 0.000$) Umbral del 60% de pendiente de ladera (con un valor estándar del 52% de cobertura) para reducir al 20% la superficie afectada por erosión.	(B) Cobertura vegetal >52% (B) Pendiente de ladera <60%
Cacao	Waslala (Región Autónoma del Atlántico Norte, RAAN, Nicaragua)	El 24,1±1,3% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=32) estaba afectada por erosión. - Cobertura de residuos vegetales: $y=79,63-0,79x$ ($R^2 = 0,82$; $p = 0.000$) Umbral del 75% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión	(B) Cobertura vegetal >75%
Arveja en la etapa de desarrollo. Sistema de cultivo con laboreo (azada)	Patzún y Sta. Apolonia (Chimaltenango, Guatemala)	El 69,9±5,8% de la superficie de las parcelas de muestreo (n=14) estaba afectada por erosión. Cobertura vegetal (viva y residuos vegetales): - Cobertura <20% = 96% de superficie erosionada - Cobertura 20-40% = 89% de superficie erosionada - Cobertura 40-60% = 84% de superficie erosionada - Cobertura >60% = no hay casos $y=0,63+0,32x$ ($R^2 = 0,48$; $p = 0.004$) Umbral del 248% de cobertura para reducir al 20% la superficie afectada por erosión.	(M) la arveja es un cultivo inapropiado en montañas tropicales de elevada pendiente

Ganadería bovina extensiva	Waslala (Región Autónoma del Atlántico Norte, RAAN, Nicaragua)	El $18 \pm 1,4\%$ de la superficie de las parcelas de muestreo ($n=32$) estaba afectada por erosión. - Cobertura vegetal de pasto: $y=79,42-0,7x$ ($R^2 = 0,60$; $p = 0.000$) Umbral del 85% de cobertura de pasto para reducir al 20% la superficie afectada por erosión - Cobertura de residuos vegetales: $y=81,79-0,84x$ ($R^2 = 0,65$; $p = 0.000$) Umbral del 75% de cobertura de residuos vegetales para reducir al 20% la superficie afectada por erosión. - Cobertura superpuesta (pasto y residuos) $y=93,25-0,46x$ ($R^2 = 0,75$; $p = 0.000$) Umbral del 160% de cobertura superpuesta para reducir al 20% la superficie afectada por erosión	(B) Cobertura vegetal de pasto >85% (B) Cobertura de residuos vegetales >75% (B) Cobertura superpuesta >160%
Ganadería bovina extensiva	Olancho (Yoro, Honduras)	Pendiente de ladera y CGA: - Pendiente <30% = DA: 1,09 (CGA < 200 a ha-1 año-1) – 1,33 gr cm-3 (CGA 1900 a ha-1 año-1), no se aprecian indicadores de degradación del suelo y la vegetación en todos los intervalos de carga. - Pendiente 30-50% = DA: 1,15 (CGA < 200 a ha-1 año-1) – 1,41 gr cm-3 (CGA 1900 a ha-1 año-1), se aprecian indicadores de degradación del suelo y la vegetación de forma creciente con la carga - Pendiente > 50% = DA: 1,28 (CGA < 200 a ha-1 año-1) – 1,59 gr cm-3 (CGA 600-900 a ha-1 año-1), elevada densidad de indicadores de degradación del suelo y la vegetación en todos los intervalos de carga.	(B) - Pendiente <30 = CCG de 900-1900 a ha-1 año-1 - Pendiente 30-50% = CCG de 400-600 a ha-1 año-1. - Pendiente >50 = CCG <200 a ha-1 año-1

CGA (a ha-1 año-1): carga ganadera acumulada (animales hectárea-1 año-1); DA: densidad aparente; CCG: capacidad de carga ganadera.

Figura 3. Ejemplo de Buenas Prácticas Agrarias en cultivo de maíz: cobertura total de residuos vegetales que protegen el suelo de la erosión y siembra con sistema de no-laboreo (espeque) (Chiquimula, Guatemala).



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la existencia de un diferente comportamiento erosivo entre los usos agrarios característicos de las montañas de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Los sistemas agrarios que han presentado un control más efectivo de la erosión han sido el sistema agroforestal de cultivo de café y sombra de *Inga sp* y *Musa sp* ($10,4 \pm 1,2\%$ de superficie afectada por erosión), la ganadería bovina extensiva ($18 \pm 1,4\%$ de la superficie) y el cacao ($24,1 \pm 1,3\%$). Los cultivos de maíz ($76,5 \pm 7,3\%$ y $67,5 \pm 3\%$), frijol ($80,8 \pm 2,1\%$ y $52,2 \pm 4,5\%$) y arveja ($69,9 \pm 5,8\%$) presentaron unas tasas de erosión muy alejadas de las anteriores. De todos ellos, el cultivo que se desaconseja es la arveja porque el manejo que se utiliza en la actualidad no permitiría reducir las tasas de erosión a unos valores aceptables.

Los factores de erodabilidad de los sistemas agrarios analizados han sido la cubierta vegetal, la pendiente y el sistema de cultivo. Éstos se han utilizado para establecer las buenas (BPA) y malas (MPA) prácticas que permitirán controlar la erosión y mejorar la sostenibilidad medioambiental. Se han establecido las siguientes recomendaciones de manejo:

1. El cultivo de maíz requiere una cobertura vegetal que cubra la totalidad de la superficie del suelo.
2. El cultivo de frijol requiere una cobertura del suelo superior al 73% (BPA) y se recomienda el uso de las técnicas tradicionales de siembra con espeque (sistema de cultivo de no laboreo).

3. El sistema agroforestal de cultivo de café requiere una cobertura vegetal superior al 52% y cultivar preferiblemente en laderas de pendiente inferior al 60%.
4. El cultivo de cacao requiere una cobertura vegetal superior al 75%.
5. El sistema ganadero extensivo requiere una cobertura de pasto superior al 85% y/o de residuos vegetales superior al 75%. Para un mejor control de la erosión es más efectivo mantener ambos tipos de coberturas.

La fase de investigación aun no ha concluido. Paralelamente al desarrollo de las Eca se va a seguir profundizando en el comportamiento erosivo de los sistemas agrarios características de las montañas tropicales de Centroamérica, para abordar todas las características ambientales y de manejo de las áreas de implementación de las ECA. Al mismo tiempo, es necesario destacar que las recomendaciones de manejo, basadas estrictamente en la conservación del suelo, deben aun ser evaluadas teniendo en cuenta otros factores ambientales y económicos (control de plagas, costos de producción y rendimientos), antes de su puesta en práctica.

La metodología de análisis de la erosión hídrica del suelo mediante indicadores visuales se puede considerar que es apropiada para el caso de estudios de erosión en las montañas tropicales, con diferentes sistemas agrarios y en diferentes condiciones ambientales. Es decir, esta metodología ha permitido valorar diferentes situaciones con fines comparativos, en un número suficiente de casos, como para considerar que los resultados son fiables y representativos para el área de estudio. Las diferencias ambientales y de manejo a escala de finca, a lo que se puede sumar la variación temporal y espacial de la erosión para una misma zona, hacen que sea arriesgado extrapolar los resultados de investigaciones aisladas. El método de análisis utilizado ha permitido aumentar los casos de investigación para abarcar las diferentes situaciones que se dan en las áreas de estudio e identificar las causas ambientales y/o humanas de la erosión.

BIBLIOGRAFÍA

- ARSHAD, M.A., FRANZLUEBBERS, A.J. y AZOOZ, R.H. (1999). "Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada". *Soil & Tillage Research*, nº 53, 41-47
- BLANCO, R. y NIEUWENHUYSE, A. (2011). "Influence of topographic and edaphic factors on vulnerability to soil degradation due to cattle grazing in humid tropical mountains in northern Honduras". *Catena*, nº 86, 130-137.
- BRAUN, A. y DUVESKOG, D. (2008). "The Farmer Field School Approach – History, Global Assessment and Success Stories". En *Background Paper for the IFAD Rural Poverty Report 2011*.
- DERPSCH, R., SIDIRAS, N. y ROTH, C.H. (1986). "Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil". *Soil & Tillage Research*, nº 8, 253-263.

- EL-SWAIFY, S.A. (1997). "Factors affecting soil erosion hazards and conservation needs for tropical steeplands". *Soil Technology*, nº 11, 3-16.
- HERWEG, K. (1996). *Field manual for assessment of current erosion damage*. Soil Conservation Research Programme. University of Berne, Switzerland.
- HUDSON, N.W. (1993). *Field measurement of soil erosion and runoff*. FAO Soils Bulletin, 68. Rome, 153p.
- LEYS, A., GOVERS, G., GILLIJNS, K., BERCKMOES, E. y TAKKEN, I. (2010). "Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover". *Journal of Hydrology*, nº 390, 143-154.
- MUTEKANGA, F.P., VISSER, S.M. y STROOSNIJDER, L. (2010). "A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngege watershed in Uganda. *Geoderma*, nº 160, 165-174.
- NYSEN, J.; POESEN, J. y DECKERS, J. (2009). "Land degradation and soil and water conservation in tropical highlands". *Soil & Tillage Research*, nº 103, 197-202.
- SMITH, G.D., COUGHLAN, K.J., YULE, D.F., LARYEA, K.B., SRIVASTAVA, K.L., THOMAS, N.P. y COGLE, A.L. (1992). "Soil management options to reduce runoff and erosion on a hardsetting Alfisol in the semi-arid tropics". *Soil & Tillage Research*, nº 25, 195-215.
- STOCKING, M. y MURNAGHAN, N. (2001). *Handbook for the Field Assessment of Land Degradation*. Earthscan Pub. Ltd, London-Sterling, VA.
- VERBIST, B., POESEN, J., VAN NOORDWIJK, M., WIDIANTO, SUPRAYOGO, D., AGUS, F. y DECKERS, J. (2010). "Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape". *Catena*, nº 80, 34-46
- WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537, USDA, Washington, DC
- WUDDIVIRA, M.N., STONE, R.J. y EKWUE, E.I. (2013). "Influence of cohesive and disruptive forces on strength and erodibility of tropical soils" *Soil & Tillage Research*, nº 133, 40-48.
- ZHANG, G.S., CHAN, K.Y., OATES, A., HEENAN, D.P. y HUANG, G.B. (2007). "Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage". *Soil & Tillage Research*, nº 92, 122-128.