

AMÉRICA LATINA ANTE LOS (NUEVOS) RETOS DE LA JUSTICIA SOCIAL Y AMBIENTAL

INÊS GUSMAN · YAMILÉ PÉREZ GUILARTE · DIEGO CIDRÁS
JOSÉ IGNACIO VILA VÁZQUEZ · RUBÉN C. LOIS GONZÁLEZ
(COORDS.)



AMÉRICA LATINA ANTE LOS (NUEVOS) RETOS DE LA JUSTICIA SOCIAL Y AMBIENTAL

Coordinadores:

Inês Gusman

Yamilé Pérez Guilarte

Diego Cidrás

José Ignacio Vila Vázquez

Rubén C. Lois González

América Latina ante los (nuevos) retos de la justicia social y ambiental. Coordinado por Inês Gusman, Yamilé Pérez Guilarte, Diego Cidrás, José Ignacio Vila Vázquez y Rubén C. Lois González.

Madrid: Asociación Española de Geografía. ISBN: 978-84-124962-9-1

El procedimiento de selección y admisión de los originales responde a criterios de calidad equiparables a los exigidos para las revistas científicas (revisión por pares ciegos). Los contenidos son de exclusiva responsabilidad de los autores y autoras.

Edita:

Asociación Española de Geografía
Albasanz, 26-28 // 28037- Madrid
Tel. 0034916022933
Móvil 0034629962199
Fax. 0034916022971
E-mail: info@age-geografia.es
www.age-geografia.es

Colaboran:

Grupo de Trabajo de América Latina de la AGE
Asociación Española de Geografía

Grupo de Análise Territorial (ANTE) GI-1871
Instituto Universitario de Estudos e Desenvolvimento de Galicia
Universidade de Santiago de Compostela

Centro de Estudios Territoriales Iberoamericanos (CETI)
Universidad de Castilla-La Mancha

©Asociación Española de Geografía, 2023
©De cada capítulo su autor, 2023
©Imagen portada: La Paz, Bolivia. PixabayLicense

Impresión

Servizo de Reprografía, Edición e Impresión Dixital da USC

Depósito Legal: M-2146-2023
ISBN: 978-84-124962-9-1
DOI: <https://doi.org/10.21138/al/2023.lc>

ÍNDICE

¿Hacia una América Latina justa y sostenible? Reflexiones sobre los desafíos ambientales, sociales y económicos	13
<i>Inês Gusman, Yamilé Pérez Guilarte, Diego Cidrás, José Ignacio Vila Vázquez</i>	
EJE 1. Aprovechamiento (in)sostenible de recursos naturales, banalización de los paisajes rurales y conflictividad ambiental	
Identificación de las causas del proceso de deforestación en el municipio de Puerto Guzmán, departamento del Putumayo – Colombia (Amazonía) a partir de entrevistas semiestructuradas	29
<i>Oscar Hernando Eraso Terán, Anna Badia Perpinyà, Meritxell, Gisbert Traveria</i>	
Avance de la deforestación en la amazonía colombiana. Un análisis histórico espacial desde el territorio, caso Parque Nacional Natural Tinigua.	45
<i>Miguel Ángel Ardila Beltrán</i>	
Perspectivas del sur de Chile: afectaciones de la salmonicultura en las relaciones sionaturales en la comuna de Hualaihué, región de los Lagos, Chile.	65
<i>Jessica Araceli Barría Meneses</i>	
Os Impactos Socioambientais Consequentes da Implementação de Atividades Mineradoras no Entorno do Córrego Maria Casimira	87
<i>Raul Vieira Martins da Silva, Janise Bruno Dias, Júlia Resende Pellegrinelli Machado</i>	
La explotación agrícola y ganadera y la degradación de los suelos en el interior del estado de São Paulo, Brasil	105
<i>Emanuela Sanches Moreira, José Antonio Segrelles Serrano</i>	
Explotación acuícola en tierra del fuego: La falta de compromiso estatal chileno en la conservación de áreas naturales protegidas	121
<i>Ángela Martínez Rivas, Dolores Sánchez Aguilera</i>	
Conflictos ambientales por el cambio del uso de suelo de cultivos tradicionales a agroindustriales en Zapotlán el Grande, Jalisco, México	135
<i>Carlos Suárez Plascencia, Digna Ahtziri Carrillo González</i>	
Agua potable y movimientos sociales: consecuencias socio territoriales del Proyecto Neptuno en el departamento de San José	151
<i>Facundo Berterreche, Soledad Viquez Camacho</i>	
Los espacios rurales ante procesos de desarrollo urbano-industrial en el occidente de México	161
<i>Octavio Martín González Santana</i>	
Análisis espacio-temporal de las áreas verdes urbanas, su relación con la distribución de temperaturas y habitantes. estudio de caso de la ciudad de Temuco, Región de la Araucanía, Chile.	173
<i>David Fonseca-Luengo, Cristian Soto Moya, Miguel Aguayoç</i>	

A paisagem como categoria de análise nos espaços costeiros de Brasil e Cuba – relação de fragilidades naturais e uso das terras.	189
<i>Regina Célia de Oliveira, Idevan Gusmão Soares, Marcelo da Silva Gigliotti</i>	
Análise sobre o conhecimento dos professores em relação as unidades de conservação em Novo Airão-AM	207
<i>Vilma Terezinha de Araújo Lima, Sonia Maria Castellar Venzella</i>	
Narrativas de cambio en la región andina. En busca de las iniciativas de transformación en las áreas rurales del Perú y de Bolivia	219
<i>Bogumila Lisocka-Jaegermann, Agata Hummel, Radosław Powęska</i>	
Conflictos y procesos de territorialización corporativa en regiones vitivinícolas. El caso de la Indicación Geográfica Altamira en Mendoza, Argentina	237
<i>Robin Larsimont, Facundo Martín</i>	
Paisajes hortícolas de altura de la cordillera volcánica central de Costa Rica: entre la periferia metropolitana y los espacios naturales protegidos	255
<i>Yazmín León Alfaro, Frank González Brenes, Nieves López-Estébanez</i>	
Serviços ecossistêmicos da geodiversidade: abordagem preliminar no Parque Nacional de Anavilhanas e seu entorno, Amazônia, Brasil	273
<i>Raimundo Humberto Cavalcante Lima, Maria da Glória Motta Garcia</i>	
El control de la erosión hídrica para una agricultura sostenible en cultivos anuales de Centroamérica	289
<i>Rafael Blanco Sepúlveda, Francisco J. Lima, Francisco Enríquez Narváez</i>	
Evolución de los movimientos en masa de tierra y sus consecuencias en las comunidades indígenas de Pompeya y Caliata (Ecuador)	303
<i>Ana Castillo Jurado, Benito Mendoza Trujillo, Mauro Jiménez Granizo</i>	
Humedad superficial del suelo por escalamiento de imágenes satelitales smap y promedios heronianos en una cuenca andina tropical	321
<i>Doris Helena Serrano Amaya</i>	
EJE 2. Las dinámicas del mundo urbano desde la óptica de la justicia social	
Las ciudades como núcleos de desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe	339
<i>Eleonora Ermóleva</i>	
Dispersión urbana y formación de vacíos urbanos en ciudades intermedias de São Paulo: aportes para la construcción de un enfoque metodológico	351
<i>Amanda Carvalho Maia, Gisela Cunha Viana Leonelli, Francisco Cebrián Abellán</i>	
Metodología para el análisis comparado de dinámicas de expansión urbana. Los casos de Asunción (Paraguay) y Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina)	369
<i>Montserrat Victoria Garcia Calabrese, Irene Sánchez Ondoño, José Prada Trigo</i>	
Las ciudades pequeñas en Colombia: tema pendiente, con pocos dolientes	387
<i>Jeffrey Janer Quiñones</i>	

Dinâmicas territoriais, normas e agiotagem no Brasil: análise geográfica	405
<i>Dhiego Antonio De Medeiros</i>	
Novas fronteiras de acumulação. Endividamento das famílias e leilões imobiliários no Brasil: Articulando dimensões econômicas e espaciais	425
<i>Everaldo Santos Melazzo, João Victor Cordeiro de Camargo</i>	
Dinâmicas de acceso al crédito formal e informal en Santa Elena – Ecuador	439
<i>Hugo de Jesús Jácome-Estrella, Fander Falconi-Benítez</i>	
Os espaços da financeirização, a produção habitacional e a ascensão (e a queda) da securitização brasileira no século XXI	453
<i>Marlon Altavini de Abreu</i>	
Securitização do imobiliário e transformação da habitação em ativo financeiro no Brasil: confluências entre estado e mercado	471
<i>Bruno Leonardo Silva Barcella</i>	
A atuação da companhia sulamericana de distribuição em maringá-pr-Brasil: reescalonamento e produção do espaço urbano	489
<i>Samarane Fonseca Souza Barros</i>	
Reestructuracion productiva y sistemas logísticos: estudio comparativo de casos en Argentina y España	501
<i>Luciana Buffalo, Rosa Mecha López</i>	
Desigualdades socioeconómicas y modelo neoliberal en Chile: arriendo estudiantil y dinámicas de mercado en el espacio privado	513
<i>José Prada Trigo, Irene Sánchez Ondoño</i>	
Caracterización de la población en barrios populares en el Gran San Miguel de Tucumán-Tafí Viejo (Argentina)	529
<i>Juan José Natera Rivas, Ana Ester Batista Zamora</i>	
Desigualdade, pobreza e fome no Brasil contemporâneo	545
<i>Anderson Marreira, Iara Rafaela Gomes</i>	
Urbanizaciones cerradas y la nueva segregación urbana en ciudades medias y del interior en Brasil	555
<i>Jefferson Goulart, Isabela C. Bertoni</i>	
Os impactos do trabalho na (re)produção do espaço geográfico em uma sociedade capitalista	573
<i>Markfran Silva de Gouveia, Karina Furini da Ponte</i>	
Desastres Ambientais Urbanos na periferia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro	589
<i>Leticia Espíndola Moussa</i>	
Vulnerabilidade e (in)justiça socioambiental no Recife em tempos de mudanças climáticas	599
<i>Mariana Zerbone Alves de Albuquerque, Edvânia Torres Aguiar Gomes</i>	

Geografias negras no Brasil e a injustiça social	615
<i>Geny Ferreira Guimarães</i>	
A prática do bem-viver para uma justiça social e ambiental: o caso do Haiti	633
<i>Charlot Jn Charles, Josué da Costa Silva, Ilgentche Appolon</i>	
As disputas sobre espaços públicos e o direito à cidade no Brasil.....	647
<i>Eda Maria Goés</i>	
Instrumentalização do conceito de natureza e território urbano – o caso da Reserva Estadual da Cantareira, Brasil	659
<i>Vitória Eichenberger</i>	
Uso de indicadores para medir la justicia ambiental en América Latina.....	673
<i>Soledad Camacho Lorenzo, Joan Alberich González, Yolanda Pérez Albert</i>	
A contribuição da escola brasileira na aplicação da análise fatorial exploratória (afe) para identificar as áreas com injustiças sociais: o estudo das vulnerabilidades sociais e ambientais	689
<i>Marcelo Costa, Andréa Aparecida Zacharias, Lúcio José Sobral da Cunha</i>	
La fragilidad ambiental del paisaje como herramienta de planificación territorial en Ixtlahuacán del río, Jalisco, México	705
<i>Digna Ahtziri Carrillo González, Carlos Suárez Plascencia</i>	
La preocupación por la salud vinculada a la minería del carbón en Chile a través de fuentes geohistóricas (siglos XIX- XX)	717
<i>Alejandro Vallina Rodríguez, Rodrigo Andrés Moreno Mora, Miguel Borja Bernabé Crespo</i>	
Desafíos de la ciudad global para la innovación de la gestión urbana - caso de estudio Bogotá	735
<i>Judith Salinas González</i>	
EJE 3. Territorio y economía, fronteras y transformaciones geopolíticas	
Las nuevas geografías de la organización económica y política del capitalismo en América Latina en el siglo XXI	749
<i>Luciana Buffalo, Edilson Pereira Junior, Denis Castilho</i>	
La tecnología digital como determinante de la Inclusión Financiera en el Ecuador....	759
<i>Fabrizio Lovato-Arteaga, Hugo Jácome-Estrella</i>	
Inovação e Redes na constituição da megarregião brasileira (Rio de Janeiro-São Paulo).....	779
<i>Regina Tunes</i>	
Evolución y distribución espacial de las grandes masas de cultivo en el noroeste argentino (2002/2018)	793
<i>Ana Ester Batista Zamora</i>	

Dinámica de la agroindustria del vino en Brasil y España en las últimas décadas: estudio comparativo.....	811
<i>Marlon Clovis Medeiros, Silvia Cristina Limberger, Rosa Mecha López</i>	
Conocimiento acumulado sobre la problematización del desarrollo rural con enfoque territorial	829
<i>Elkis Peñaranda Pinto</i>	
Patrimonio y turismo en las iniciativas latinoamericanas de desarrollo inspiradas en el programa pueblos mágicos de México	845
<i>José David Albarrán Periañez</i>	
Reivindicación de Espacios Costeros Marinos en el Archipiélago de Chiloé.....	865
<i>Sebastián Campos-Soussi, Paula Quijada-Prado, Voltaire Alvarado Peterson</i>	
A fronteira do Brasil com a França: entre encantamento e estranhamento.....	881
<i>Iná Elias de Castro, Rafael Winter Ribeiro, Daniel A. de Azevedo</i>	
Retos geopolíticos en México y Centroamérica en el S. XXI: problemas migratorios y fronterizos.....	895
<i>Carmen García Martínez, Longxiang Li</i>	
Geopolítica y geoeconomía en América Latina: reescalamientos, fragmentaciones y repercusiones socioespaciales en la disputa regional entre Estados Unidos y China..	911

El control de la erosión hídrica para una agricultura sostenible en cultivos anuales de Centroamérica

Rafael Blanco Sepúlveda

Universidad de Málaga (España)
<https://orcid.org/0000-0001-6537-4482>

Francisco J. Lima

Universidad de Málaga (España)
<https://orcid.org/0000-0002-7591-1103>

Francisco Enríquez Narváez

Asociación Progreso, Bienestar y Desarrollo (Guatemala)

Resumen

Los cultivos anuales son muy importantes en la economía de los pequeños productores de Centroamérica porque, unos, son los alimentos básicos de su dieta (maíz y frijol) y, otros, constituyen una fuente de rentas, dado que se cultivan principalmente por su vocación comercial (arveja, brócoli, papa y zanahoria). La sostenibilidad de estos cultivos en las zonas montañosas de la región se encuentra en una situación muy precaria, debido a la intensa erosión hídrica que está afectando a los suelos, con la consiguiente pérdida de productividad. Esta situación hace necesario reconducir los sistemas agrícolas actuales hacia modelos sostenibles. Los objetivos de este trabajo han sido: (1) analizar la pérdida de suelos en los cultivos anuales de las montañas de Guatemala y Nicaragua, y (2) establecer las medidas adecuadas de control de la erosión. Los resultados obtenidos mostraron que la mayor parte de los cultivos anuales analizados no son sostenibles en las condiciones actuales. Las medidas de control de la erosión que se requieren para revertir la situación son: (1) uso preferente de técnicas de no laboreo y (2) mantener una cobertura vegetal mínima para proteger el suelo de la erosión, lo que varía según el sistema de cultivo.

Palabras claves: agricultura sostenible, erosión hídrica del suelo, buenas prácticas agrarias, control de la erosión.

Abstract

Annual crops are very important in the economy of smallholders of Central America because, some of them, are the basic products of their diet (corn and beans) and, others, are a source of economic income, since they are grown mainly for its commercial vocation (peas, broccoli, potatoes and carrots). The sustainability of these crops in the mountainous areas of the region is in a very precarious situation, due to the intense water erosion that is affecting the soil, with the consequent loss of

productivity. This situation makes it necessary to redesign current agricultural systems towards sustainable models. The aims of this work have been: (1) to analyze soil loss in annual crops in the mountains of Guatemala and Nicaragua, and (2) to establish adequate erosion control measures. The results obtained showed that most of the annual crops analyzed are not sustainable under current conditions. The erosion control measures required to reverse the situation are: (1) preferential use of no-till techniques and (2) maintain a minimal vegetal cover to protect the soil against erosion, which varies according to the farming system.

Keywords: sustainable agriculture, water erosion, good agricultural practices, erosion control.

1. INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo por erosión hídrica es actualmente uno de los problemas ambientales más importantes a escala global. Concretamente, las montañas tropicales centroamericanas constituyen una de las regiones del planeta que se encuentran más gravemente afectadas (FAO-ITPS, 2015). Estos espacios son particularmente vulnerables a la erosión hídrica a causa de sus características topográficas y climáticas (Panagos et al., 2017), a lo que se suma la actividad agraria como principal factor causal de origen antrópico de este proceso de degradación del suelo (Xiong et al., 2019). A la vulnerabilidad intrínseca de esta región por motivos naturales, se suma el actual escenario de calentamiento global. El IPCC (2018) sostiene que este proceso ha provocado en el conjunto de la región un aumento de la temperatura media y una mayor irregularidad e intensidad de las precipitaciones. Este nuevo panorama climático está provocando un agravamiento de los procesos de degradación de suelos (Borrelli et al., 2020), por lo que se prevén en el sector agrario importantes pérdidas de productividad (Kang et al., 2013).

Centroamérica se encuentra sometida desde hace décadas a una fuerte presión agrícola y demográfica. Las mejoras agrarias que se han introducido desde la Revolución Verde de los años 50 del siglo XX, han provocado un aumento de la superficie cultivada y un proceso creciente de intensificación agrícola y de diversificación de los cultivos (Piñeiro et al., 1979; Patel, 2013). El aumento de la superficie cultivada se ha producido a expensas de la superficie forestal. Según las estadísticas de la FAO (2022), se ha perdido casi el 10% en el conjunto de la región en las últimas 3 décadas (1991-2019), a una tasa anual de -0,37%, lo que ha supuesto una pérdida de 9,79 millones de ha (Tabla 1). Esta cifra ha sido superada en los países de las zonas de estudio: Nicaragua ha perdido el 44,33% de la superficie forestal (2,79 millones de ha), a una tasa anual de -2,07%; y Guatemala ha perdido el 25,09% (1,18 millones de ha), a una tasa anual de -1,03%. Inversamente, la superficie agrícola de la región se ha incrementado un 2,05% (2,29 millones de ha) en las últimas 6 décadas (1961-2019), a una tasa anual del 0,04%. La tasa de crecimiento ha sido superior en los países de estudio. En Nicaragua creció un 47,67% (1,63 millones de ha), a una tasa anual del 0,67%; y en Guatemala creció un 45,73% (1,21 millones de ha), 0,65% anual.

Tabla 1. Evolución de las tierras forestales y de uso agrícola en los países de las áreas de estudio

	Tierras forestales (1991-2019)			Tierras de uso agrícola (1961-2019)		
	EvoMHa	Crto%	Tcrto%	EvoMHa	Crto%	Tcrto%
Guatemala	-1,18	-25,09	-1,03	1,21	45,73	0,65
Nicaragua	-2,79	-44,33	-2,07	1,63	47,67	0,67
América Central	-9,79	-9,97	-0,37	2,29	2,05	0,04

Notas. EvoMHa: Evolución de la superficie (millones de hectáreas); Crto%: crecimiento total (%); Tcrto%: tasa media de crecimiento anual (%). Fuente: FAO (2022). Elaboración propia.

El análisis por cultivos anuales en el conjunto de la región en las últimas décadas pone de manifiesto un importante crecimiento de la superficie agrícola, acompañado de un aumento igualmente importante de la productividad (Tabla 2). Para algunos cultivos el ritmo de crecimiento de la productividad fue considerablemente mayor que el de la superficie cultivada, lo que evidencia una creciente intensificación agrícola. Las superficies agrícolas crecieron en los cultivos de maíz (18,25% total, 0,28% anual), frijol (26,18% total, 0,39% anual), papa (76,80% total, 0,97% anual) y, especialmente en brócoli (8984% total, 7,94% anual) y zanahoria (1398% total, 4,69% anual). Solo la superficie de arveja decreció un 16,09% (-0,45% anual). Paralelamente, la productividad de estos cultivos experimentó también un incremento muy importante, en algunos casos superior al de la superficie: en maíz creció un 256% (2,18% anual), en frijol un 61,57% (0,82% anual), en brócoli un 77,17% (0,97% anual) y en papa un 338,6% (2,54% anual). Sólo en los cultivos de arveja y zanahoria decreció la productividad: 21,49% (-0,62% anual) y 21,84% (-0,42% anual), respectivamente.

El análisis por países mostró una tendencia similar al de la región en el cultivo de maíz. Por el contrario, en los restantes cultivos las diferencias fueron importantes (Tabla 2). El cultivo de frijol experimentó un incremento muy superior de la superficie cultivada: 370,52% total (2,66% anual) y 322,44% total (2,47% anual) en Nicaragua y Guatemala respectivamente; mientras que, la productividad fue similar. En brócoli y zanahoria, por el contrario, el crecimiento de la superficie fue más moderado: Guatemala (brócoli: 146,57% total, 2,34% anual; zanahoria: 297,80% total, 7,54% anual), Nicaragua (brócoli: no hay datos; zanahoria: 321,50% total, 5,09% anual). La productividad fue similar en todos los casos. En papa el crecimiento de la superficie y la productividad fue muy superior: Nicaragua (760,75% total, 3,72% anual en superficie; y 471,07% total, 3,00% anual en productividad) y Guatemala (594,51% total, 3,34% anual en superficie; y 414,86% total, 2,82% anual en productividad). En síntesis, se puede deducir de estas cifras que la superficie agrícola en los países de estudio creció a un ritmo más elevado que la productividad, lo que evidencia una apuesta por la extensificación agrícola, con la consiguiente ocupación de tierras de dudosa potencialidad agrícola, como consecuencia más importante.

Tabla 2. Evolución de los cultivos analizados en los países de las áreas de estudio entre 1961 y 2020 ^a, entre 1981 y 2020 ^b y entre 1991 y 2020 ^c

		Guatemala		Nicaragua		América Central	
		Crto	Crto%	Crto	Crto%	Crto	Crto%
Maíz ^a	<i>Sup</i>	245,42	39,25 (0,56)	133,83	80,96 (1,01)	1,40*	18,25 (0,28)
	<i>Prod</i>	1365,10	164,76 (1,66)	392,60	46,28 (0,65)	2496,9	256,41 (2,18)
Frijol ^a	<i>Sup</i>	205,07	322,44 (2,47)	191,19	370,52 (2,66)	492,24	26,18 (0,39)
	<i>Prod</i>	358,90	55,81 (0,75)	103,20	13,48 (0,21)	287,10	61,57 (0,82)
Arveja ^b	<i>Sup</i>	-	-	-	-	-1,74	-16,09 (-0,45)
	<i>Prod</i>	-	-	-	-	-3290,6	-21,49 (-0,62)
Brócoli ^{a,c}	<i>Sup</i>	4,10 ^c	146,57 (2,34)	-	-	44,92 ^a	8084,6 (7,94)
	<i>Prod</i>	4722,7 ^c	38,85 (0,84)	-	-	7716,6 ^a	77,17 (0,97)
Papa ^a	<i>Sup</i>	19,73	594,51 (3,34)	3,04	760,75 (3,72)	40,55	76,80 (0,97)
	<i>Prod</i>	20622,0	414,86 (2,82)	16487,5	471,07 (3,00)	22422	338,63 (2,54)
Zanahoria ^{a,c}	<i>Sup</i>	2,71 ^c	297,80 (7,54)	0,64 ^c	321,5 (5,09)	17,06 ^a	1398,5 (4,69)
	<i>Prod</i>	-6539,9 ^c	-18,32 (-1,06)	-4688,3 ^c	-14,71 (-0,55)	-8020,0 ^a	-21,84 (-0,42)

Notas. Sup: superficie (miles de hectáreas) (*millones de hectáreas), Prod: productividad (kg/ha), Crto: crecimiento total en cifras en el período de estudio, Crto%: crecimiento total en porcentaje en el mismo período y tasa media de crecimiento anual (entre paréntesis). Fuente: FAO (2022). Elaboración propia.

La población rural sigue teniendo un peso muy importante en Centroamérica. De acuerdo con el Banco Mundial (2022), los países de esta región presentaban en 2020 una tasa de población rural del 38,7% (48,2% en Guatemala y 41,0% en Nicaragua). La población rural en el conjunto de la región creció un 119,2% entre 1960 y 2020 (185,5% en Guatemala y 153,4% en Nicaragua), a una tasa anual del 1,6% (1,8% en Guatemala y 1,6% en Nicaragua). La presión demográfica creciente que sufren los espacios montañosos vulnerables ha provocado que se ocupen tierras marginales proclives a la erosión hídrica, lo que constituye a nivel general uno de los factores socioeconómicos más importantes que inducen este proceso (Morgan, 2005).

Por los motivos expuestos, la sostenibilidad de la actividad agraria en las montañas de Centroamérica se encuentra en un precario equilibrio. La población rural es muy dependiente de los cultivos anuales para su subsistencia y para la generación de rentas, lo que hace necesario reconducir los sistemas agrarios actuales hacia modelos sostenibles. El plan de actuaciones que hemos realizado en esta materia ha seguido un esquema de trabajo con dos fases. La primera, de investigación, se realizó

durante 6 años (2013–2018) en el marco de 8 proyectos de cooperación internacional para el desarrollo de la Universidad de Málaga, financiados por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID). En esta fase se analizaron los sistemas agrarios representativos de las montañas de Guatemala, Honduras y Nicaragua. Los resultados se han publicado en 4 trabajos (Blanco y Aguilar, 2016; Blanco y Enríquez, 2018; Blanco et al., 2021a, 2021b), que recogen los conocimientos necesarios para entender los procesos erosivos en las áreas de estudio, así como para determinar las medidas y técnicas apropiadas de control de la erosión adaptadas a cada caso. La segunda fase, de transferencia de resultados, se inició en 2021 y sigue desarrollándose en la actualidad en el marco de un proyecto financiado por la AACID (convocatoria 2020 dirigida a las universidades de Andalucía). El objetivo de este trabajo ha sido realizar un análisis de síntesis de los resultados obtenidos en la fase de investigación, que ha posibilitado iniciar la fase de transferencia de resultados.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Las zonas de estudio se encuentran en las montañas de Guatemala (Departamentos de Chimaltenango y Chiquimula) y Nicaragua (Departamentos de Jinotega y Matagalpa) (figura 1). Se han realizado un total de 12 estudios, concretamente 10 en cultivos destinados principalmente al autoconsumo (8 en maíz y 2 en frijol) y 5 en cultivos comerciales (2 en arveja y 1 en cacao, brócoli, papa y zanahoria).

Figura 1. Localización de las áreas de estudio y relación de las investigaciones realizadas



El clima es tropical húmedo, aunque con una marcada diferencia de precipitaciones según las zonas de estudio. Los registros más elevados superaron los 2000 mm: 2770 mm en Jinotega (Nicaragua) y 2414 mm en Matagalpa (Nicaragua). Mientras que, los registros más reducidos giran en torno a los 1000 mm. La cuenca del río Torjá (Chiquimula, Guatemala) presentó unas precipitaciones de 1224 mm en los tramos más elevados, que se redujeron hasta los 750 mm en la parte baja de la cuenca. En Chimaltenango (Guatemala) se registró una precipitación media de 1080 mm.

Los suelos presentan unas características variadas. La textura es franca o franco-arcillosa con un contenido de arcillas del 26,6% en Nicaragua y 23,9% en Guatemala. El contenido de carbono orgánico se mantiene en unos niveles relativamente altos, con unas medias que varían entre 2,4% en Nicaragua y 3,9% en Guatemala. El pH es muy parecido en todas las zonas de estudio: 6,3 en Guatemala y 6,6 en Nicaragua. La tasa de saturación en bases, 78,6% en Guatemala y 35,4% en Nicaragua denota un proceso de lixiviación creciente desde las regiones más secas a las más húmedas de las zonas de estudio.

2.2. Método de trabajo

La erosión hídrica del suelo se ha analizado utilizando el método de Blanco (2018), que consiste en determinar: (1) el estado erosivo mediante la cuantificación de los tipos de erosión (salpicadura, laminar, surcos y cárcavas) y de los procesos superficiales que afectan al suelo y están asociados con la erosión (los resultados se expresan en porcentaje de superficie afectada por todos estos procesos); y (2) la pérdida de suelo por erosión en surcos y cárcavas, expresando los resultados en volumen (m^3/ha). El método de estudio del estado erosivo es una adaptación del test que determina la presencia/ausencia de indicadores visuales de Stocking y Murnaghan (2001), mejorado por la inclusión de muestreos aleatorios y la determinación cuantitativa de la erosión y los procesos asociados. Las pérdidas de suelo se calcularon mediante el método de análisis de las mediciones volumétricas de los surcos y cárcavas, descrito en Hudson (1993).

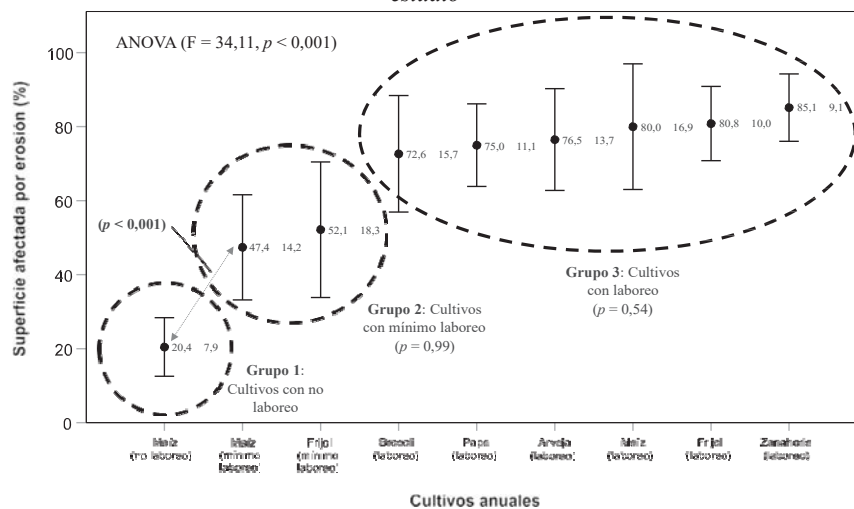
El análisis de los resultados se ha realizado mediante análisis de varianza (ANOVA y test HSD de Tukey) y regresión lineal. Los análisis estadísticos se han realizado utilizando el software SPSS, versión 25.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias de erosión estadísticamente significativa, a un intervalo de confianza del 99%, entre los 9 cultivos analizados ($F = 34,11$, $p < 0,001$). El test HSD de Tukey estableció 3 grupos de cultivos homogéneos, cuyas medias no difieren significativamente (figura 2). Los grupos que se han establecido se diferencian claramente por los sistemas de cultivo. El grupo 1 corresponde a los cultivos de maíz con no laboreo. Aquí es donde se han registrado las tasas de erosión más bajas ($20,4 \pm 7,9\%$). El grupo 2 está constituido por los cultivos con mínimo laboreo de maíz y frijol, con unas tasas de erosión muy parecidas, entre $47,4 \pm 14,2\%$ y $52,1 \pm 18,3\%$ respectivamente. El grupo 3 está compuesto por todos los cultivos sometidos a laboreo convencional, con las tasas de

erosión más altas, entre $72,6 \pm 15,7\%$ en el cultivo de brócoli y $85,1 \pm 9,1\%$ en el de zanahoria.

Figura 2. Superficie afectada por erosión hídrica en los cultivos anuales de las zonas de estudio



Notas. Valores: media \pm desviación estándar. Se incluye ANOVA y test HSD de Tukey de los subgrupos y entre cada uno de los sistemas de cultivo. Las diferencias no significativas entre cultivos no se han marcado. Elaboración propia.

Los análisis de regresión (figura 3) que se han realizado han permitido establecer las buenas (BPA) y malas prácticas agrarias (MPA) que permitirían controlar la erosión y mejorar la sostenibilidad medioambiental de los usos del suelo analizados (tabla 3). Se ha establecido una tasa de erosión mínima del 25% como valor de referencia, por debajo del cual se puede considerar que se controla de manera efectiva la erosión. Este valor se acerca a la tasa de erosión que se registró en los usos agrarios del grupo 1, donde se alcanzaron las pérdidas de suelos más bajas del conjunto de los usos analizados (figura 2). Se trata de un valor empírico que facilita la toma de decisiones con la finalidad de mejorar la planificación de la actividad agraria, desde el punto de vista de la conservación del recurso suelo.

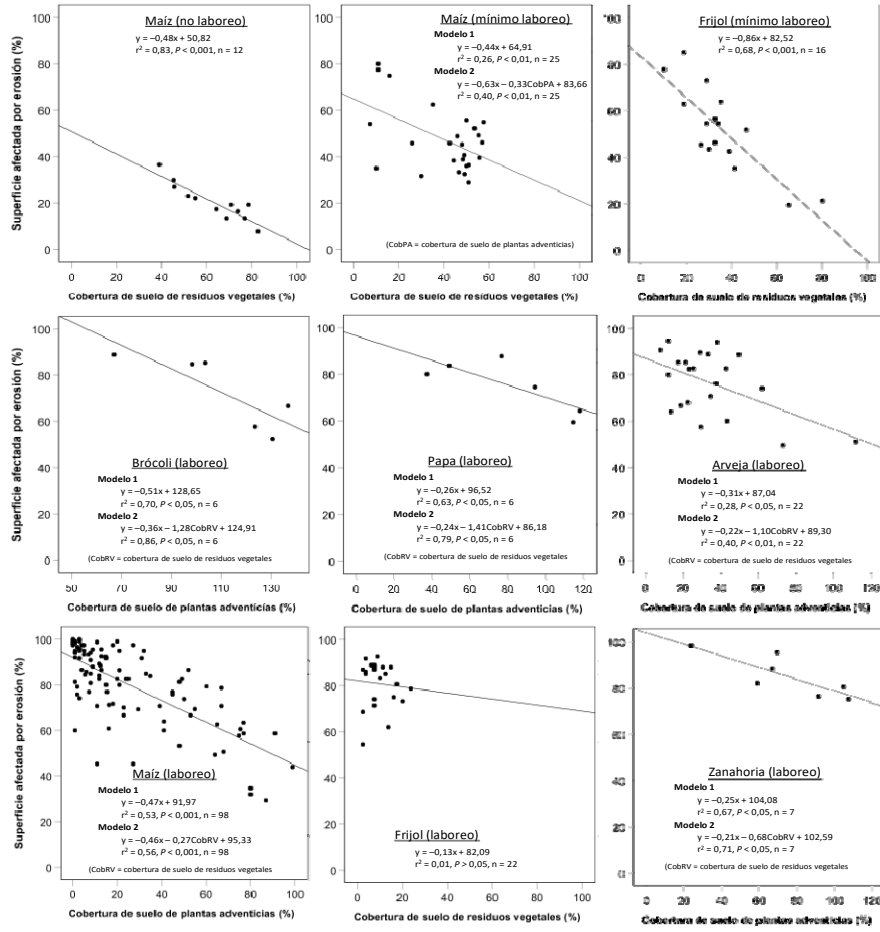
Los cultivos anuales de maíz, frijol, brócoli, papa, arveja y zanahoria requieren el uso de técnicas de no laboreo. El espeque o chuzo (bastón con punta) se recomienda para la siembra y el machete para el control de las plantas adventicias (BPA 1) (tabla 3). Por este motivo, no es apropiado el uso de técnicas de laboreo (arado, azada y machete muy superficial con contacto en el suelo) (MPA 1) y la quema de los restos de la cosecha anterior en la fase de preparación del terreno para la siembra (MPA 2). El manejo de las coberturas vegetales es clave en el control de la erosión en este tipo de cultivos.

El cultivo de maíz con sistema de no laboreo requiere una cobertura de residuos vegetales superior al 54% (BPA 2). El mismo cultivo con mínimo laboreo requiere una cobertura de residuos vegetales superior al 90%; o bien de plantas adventicias superior al 50% y de residuos vegetales superior al 67% (BPA 3). Cuando este cultivo se practica con sistemas de laboreo, no es suficiente para controlar la erosión mantener una cobertura de plantas adventicias del 100%, siendo necesario completarla con una cobertura de residuos vegetales superior al 90% (BPA 4) (tabla 3).

El cultivo de frijol con sistema de mínimo laboreo, requiere mantener una cobertura de residuos vegetales superior al 67% (BPA 5); mientras que, con laboreo, mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión (BPA 6). Es necesario seguir investigando en este sistema de cultivo, dado que las condiciones del estudio realizado fueron insuficientes para poder conocer con fiabilidad la influencia de la cobertura sobre la erosión (Blanco y Aguilar, 2016).

Los cultivos de brócoli, papa, arveja y zanahoria con sistema de laboreo requieren una combinación de coberturas de suelo para lograr un control efectivo de la erosión. Mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura este control, por lo que es necesario acompañarla con una cubierta de residuos vegetales superior al 50% en cultivos de brócoli, al 27% en papa, al 39% en arveja y al 84% en zanahoria (BPA 7-10) (tabla 3).

Figura 3. Diagramas de dispersión y ecuaciones de regresión de la relación entre la superficie afectada por erosión y la cobertura vegetal de suelo en los cultivos anuales de las zonas de estudio



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3. Buenas (BPA) y malas prácticas agrarias (MPA) para los cultivos anuales analizados

(BPA 1) Utilizar técnicas de no laboreo para la siembra y el control de las plantas adventicias. Se recomienda el espeque para la siembra y el machete para la limpieza de maleza.

(BPA 2) Maíz con no laboreo: mantener una cobertura de residuos vegetales >54%.

(BPA 3) Maíz con mínimo laboreo: mantener una cobertura de residuos vegetales >90%; o bien de plantas adventicias >50% y de residuos vegetales >67%.

(BPA 4) Maíz con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario una cobertura de plantas adventicias del 100% y de residuos vegetales >90%.

(BPA 5) Frijol con mínimo laboreo: mantener una cobertura de residuos vegetales >67%.

(BPA 6) Frijol con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario seguir investigando en este sistema de cultivo.

(BPA 7) Brócoli con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario una cobertura de plantas adventicias del 100% y >50% de residuos vegetales.

(BPA 8) Papa con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario una cobertura de plantas adventicias del 100% y >27% de residuos vegetales.

(BPA 9) Arveja con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario una cobertura de plantas adventicias del 100% y >39% de residuos vegetales.

(BPA 10) Zanahoria con laboreo: mantener una cobertura de plantas adventicias del 100% no asegura el control de la erosión. Es necesario una cobertura de plantas adventicias del 100% y >84% de residuos vegetales.

(MPA 1) Utilizar técnicas de laboreo para la siembra y el control de las malas hierbas (arado, azada y machete muy superficial con contacto en el suelo).

(MPA 2) Quema de rastrojos para la siembra.

4. DISCUSIÓN

Las investigaciones realizadas mostraron que los factores de erodabilidad de los sistemas agrarios analizados en las montañas de Centroamérica fueron el sistema de cultivo y la cobertura vegetal de suelo, tanto de residuos vegetales, como de plantas adventicias. Los sistemas de cultivo de laboreo (con arado y azadón), mínimo laboreo y no laboreo (espeque o chuzo) han tenido una marcada influencia en las tasas de erosión registradas.

Las menores tasas de erosión en el sistema de no laboreo están relacionadas con la mayor estabilidad de la estructura y la mayor macroporosidad de la superficie del suelo (Arshad et al., 1999; Zhang et al., 2007). Estas condiciones facilitan la infiltración y reducen la escorrentía y las pérdidas de suelo. A su vez, no alterar la estructura del suelo reduce la oxidación de la materia orgánica y favorece su estabilidad. Este manejo agrícola suele estar asociado con la conservación de los residuos vegetales en la superficie del suelo, lo que incrementa el contenido de carbono orgánico. La combinación de todos estos factores favorece la estabilidad de la estructura del suelo, la infiltración y el control de la erosión hídrica.

Los resultados obtenidos mostraron que la cobertura vegetal, procedente de los residuos vegetales, presentó una influencia muy destacada para controlar la erosión. También han tenido una marcada influencia las plantas adventicias en algunos cultivos anuales. El papel de la cobertura vegetal como factor de control de la erosión está determinado por su función como pantalla protectora frente al impacto de la lluvia y como obstáculo a la escorrentía superficial (Prosdocimi et al., 2016). 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, dado que evita la formación de costras superficiales (Gholami et al., 2013). 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 (Leys et al., 2010). 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.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas han mostrado la existencia de un diferente comportamiento erosivo entre los usos agrarios característicos de las montañas de Guatemala y Nicaragua. Se han podido establecer tres grupos de usos del suelo claramente diferenciados por las tasas de erosión. Los sistemas agrarios que han presentado un control más efectivo de las pérdidas de suelo han sido los cultivos de maíz con sistema de no laboreo, con una superficie afectada por erosión del 20%. Le siguieron los cultivos de maíz y frijol con sistema de mínimo

laboreo, con unas tasas entre el 47 y el 52%. Finalmente, los cultivos anuales de brócoli, papa, arveja y zanahoria con sistema de laboreo mostraron las mayores tasas de erosión, entre el 72 y el 85%.

Las investigaciones realizadas en este último grupo, a excepción del cultivo de maíz, no han sido concluyentes, lo que requiere una ampliación de estudios. Sería necesario realizar nuevas investigaciones en diferentes sistemas de manejo del suelo y en diferentes intervalos de cobertura para responder de manera satisfactoria al control de la erosión.

Los factores de erodabilidad de los sistemas agrarios analizados han sido el sistema de cultivo (manejo del suelo) y la cobertura vegetal. Éstos se han utilizado para establecer las buenas (BPA) y malas (MPA) prácticas agrarias que permitirán controlar la erosión y mejorar la sostenibilidad medioambiental. Se espera que la implementación de estas medidas de control de la degradación del suelo pueda generar importantes sinergias en el desarrollo integral económico, social y ambiental de las comunidades locales de estos espacios montañosos fuertemente poblados. Todos estos aspectos constituyen los componentes fundamentales del desarrollo sostenible.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco de diferentes proyectos de investigación que han sido financiados por los siguientes organismos: Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID), a través de los programas de cooperación para el desarrollo de la Universidad de Málaga (España), y la Asociación Bienestar, Progreso y Desarrollo (ABPD) de Guatemala.

REFERENCIAS

- Arshad, M.A., Franzluebbbers, A.J. y Azooz, R.H. (1999). Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil Tillage Res.*, 53, 41–47.
- Banco Mundial (2022). Base de datos sobre salud, nutrición y población del Banco Mundial. Disponible en: <http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=estad%C3%ADstics-sobre-salud,nutrici%C3%B3n-y-poblaci%C3%B3n>
- Blanco, R. y Aguilar, A. (2016). The erosion threshold for a sustainable agriculture in cultures of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under conventional tillage and no-tillage in Northern Nicaragua. *Soil Use and Management*, 32(3), 368–380.
- Blanco, R. (2018). An erosion control and soil conservation method for agrarian uses based on determining the erosion threshold. *MethodsX*, 5, 761–772.
- Blanco, R. y Enríquez, F. (2018). Erosion Control in the Sustainable Cultivation of Maize (*Zea mays* L.) and Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at Two Stages of the Agricultural Cycle in Southern Guatemala. *Sustainability*, 10(12), 4654.

- Blanco, R., Aguilar, A. y Lima, F. (2021a). Impact of Weed Control by Hand Tools on Soil Erosion under a No-Tillage System Cultivation. *Agronomy*, 11(5), 974.
- Blanco, R., Enríquez, F. y Lima, F. (2021b). Effectiveness of conservation agriculture (tillage vs. vegetal soil cover) to reduce water erosion in maize cultivation (*Zea mays* L.): An experimental study in the sub-humid uplands of Guatemala. *Geoderma*, 404, 115336, 1-11.
- Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L. y Ballabio C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 117(36), 21994–22001.
- FAO (2016). FAOSTAT. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FAO (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FAO-ITPS (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 607 p.
- Gholami, L., Sadeghi, S.H. y Homaei, M. (2013). Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77 (1), 268–278.
- Hudson, N.W. (1993). Field Measurement of Soil Erosion and Runoff. FAO Soils Bulletin: Rome, Italy, 139 p.
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5 °C. Chapter 3: Impacts of 1.5 °C Global Warming on Natural and Human Systems; Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15_chapter3.pdf
- Kang, M.S. y Banga, S.S. (2013). Global agriculture and climate change. *J. Crop Improv.*, 27, 667–692.
- 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. *J. Hydrol.*, 390, 143–154.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Jae Lim, K., et al. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Sci. Rep.* 7, 4175.
- Patel, R. (2013). The Long Green Revolution, *The Journal of Peasant Studies*, 40(1), 1-63.
- Piñeiro, M., Trigo, E. y Fiorentino, R. (1979). Technical change in Latin American agriculture. *Food Policy*, 4, 169–177.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P. y Cerdà, A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Sci. Rev.* 161, 191–203.
- Stocking, M. y Murnaghan, N. (2001). Handbook for the Field Assessment of Land Degradation. Earthscan Pub. Ltd.: London-Sterling, UK, 184 p.
- Xiong, M., Sun, R. y Chen, L. (2019). A global comparison of soil erosion associated with land use and climate type. *Geoderma* 343, 31–39.

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 Res.*, 92, 122–128.

CON LA COLABORACIÓN DE



ANTE
Análise Territorial
GI - 1871

