

# COMPATIBILIDAD DE USO Y CAPACIDAD AGROLÓGICA COMO INDICADOR DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA

## COMPATIBILITY OF USE AND AGROLOGICAL CAPACITY AS AN INDICATOR OF SOIL DEGRADATION IN THE GRIJALVA RIVER BASIN

Zavala-Cruz, J.<sup>1</sup>; Castillo-Acosta, O.<sup>2\*</sup>; Ortiz-Pérez, M.A.<sup>3</sup>; Palma-López, D.J.<sup>1</sup>; Córdova-Ávalos, V.<sup>1</sup>; Obrador-Olán, J.J.<sup>1</sup>; Guerrero-Peña, A.<sup>1</sup>; García-López, E.<sup>1</sup>; Salgado-García, S.<sup>1</sup>; Rincón-Ramírez, J.<sup>1</sup>; López-Castañeda, A.<sup>4</sup>; Shirma-Tórres, E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesor investigador, Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, <sup>2</sup>Profesor Investigador, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <sup>3</sup>Profesor Investigador, Instituto de Geografía, UNAM. <sup>4</sup>Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco, México.

\*Autor de Correspondencia: ofecas57@gmail.com

### RESUMEN

México tiene extensas superficies de suelos degradados en respuesta a uso no sustentable, y para evitar esto, se requiere generar indicadores para zonificarlos. Se evaluó la compatibilidad de usos del suelo con la capacidad agrológica en regiones de la cuenca del río Grijalva (CRG), para identificar suelos en riesgo de degradación. Se generó cartografía a nivel de reconocimiento sobre regiones ecogeográficas, uso del suelo y capacidad agrológica. Su superposición permitió diferenciar zonas de compatibilidad mediante álgebra de mapas. Los resultados muestran que la CRG tiene 16 regiones ecogeográficas, donde sobresale la vegetación natural (47.6%), uso agropecuario (44.9%), y áreas urbanas, cuerpos de agua y suelo desnudo (7.5%). Las clases de capacidad agrológica se diferencian por ambiente geomorfológico; 36.9% de la Planicie Costera del Golfo es apto para la agricultura (I a IV); 38% del suelo de la Sierra Norte de Chiapas y Altos de Chiapas, tiene una aptitud forestal y ganadera (V a VI), y 21.9% de toda la cuenca es apta para vida silvestre (VII). El 5.5% (1178.6 km<sup>2</sup>) de la CRG tiene uso incompatible con la capacidad agrológica, indicando el riesgo de degradación por erosión hídrica, al presentar uso agrícola en suelos con severas limitaciones. Por ello, se requiere impulsar programas sustentables de conversión del uso del suelo para coadyuvar a la conservación de suelos.

**Palabras clave:** cartografía, relieve, sistemas agrícolas, degradación

### ABSTRACT

Mexico has extensive surfaces of degraded soils as a result of their non-sustainable use, and generating indicators for zoning is required to avoid this. The compatibility of land uses and agrological capacity was evaluated in the Grijalva River Basin (GRB), in order to identify soils in risk of degradation. The cartography was generated at the level of recognition of ecogeographic regions, land use, and agrological capacity. Its superposition allowed differentiating compatibility zones through map algebra. Results show that the GRB has 16 eco-geographic regions, where natural vegetation stands out (47.6 %), agricultural use (44.9 %), and urban areas, water bodies and bare ground (7.5 %). The classes of agrological capacity are differentiated by geomorphological environments; 36.9% of the Gulf Coastal Flatland is apt for agriculture (I to IV); 38% of the soil of the Northern Chiapas Sierra and Chiapas Highlands has forestry and livestock production aptitude (V to VI); and 21.9% of the whole basin is apt for wildlife (VII). Of the GRB, 5.5% (1178.6 km<sup>2</sup>) has incompatible use with its agrological capacity, indicating the risk of degradation from hydric erosion, when presenting agricultural use in soils with severe limitations. Therefore, sustainable programs for land use conversion to contribute to soil conservation should be promoted.

**Keywords:** cartography, relief, agricultural systems, degradation.

**Agroproductividad:** Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 3-8.

**Recibido:** junio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

## INTRODUCCIÓN

**México** tiene superficies extensas con procesos de degradación en suelos, implicando su pérdida de utilidad actual o potencial para realizar funciones y servicios. Se atribuyen a usos agropecuarios no sustentables, destacando la exposición a erosión extrema (64%) del territorio (Montes-León *et al.*, 2011; Porta *et al.*, 2014). Existen varias metodologías de evaluación de dichos procesos, pero se requiere generar indicadores expeditos para identificar las tierras en riesgo y coadyuvar a su uso racional. Una alternativa consiste en valorar la compatibilidad del uso y vocación natural como un criterio para el aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos para mantener su capacidad productiva (Cotler *et al.*, 2007). Para ello se requiere contar con una cartografía de dichos factores. México tiene una cartografía de uso del suelo y de medio físico a nivel de reconocimiento (escala 1: 250,000), pero el uso del suelo tiene cambios dinámicos a corto plazo y la cartografía de suelos no está actualizada, por lo que se requiere generarla en regiones de tamaño medio. En las cuencas mayores, en una primera fase de estudio se requiere cartografía de reconocimiento de los factores a evaluar. El mapa de uso del suelo provee información sobre uso agropecuario y tipos de vegetación (INEGI, 2015). La cartografía de suelos y biofísica, junto con información física y química de los perfiles de suelo, permiten evaluar la capacidad o aptitud de las tierras para diversos usos, con base en factores limitantes por clima, erosión, drenaje, relieve y suelo (IMTA, 1989; Porta *et al.*, 2014). En este estudio se evaluó el grado de compatibilidad con la superposición de cartografía a nivel reconocimiento de uso del suelo y capacidad agrológica, en regiones ecogeográficas de la cuenca del río Grijalva, considerando que el grado de compatibilidad puede ser utilizado como indicador de suelos en procesos de degradación, para la toma de decisiones sobre programas de conservación de suelos y en estudios de ordenamiento ecológico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del Río Grijalva (CRG) tiene una superficie de 21 411.2 km<sup>2</sup> (16° 45' y 18° 36' N, y 91° 40' y 93° 40' O). Los climas varían de cálido húmedo en la Planicie Costera del Golfo (PCG) y en la Sierra Norte de Chiapas (SNCH), con precipitación de 2000 a 4500 mm, a semicálido subhúmedo, templado subhúmedo y húmedo en la SNCH y Altos de Chiapas (ACH), donde la precipitación declina a 1500 mm. La cuenca es drenada por los ríos Mezcalapa, Samaria y Grijalva que aportan el caudal de agua dulce más importante de México (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

**Mapa de regiones ecogeográficas.** Se generó el mapa de regiones ecogeográficas escala 1:250 000 que zonifica ambientes geomorfológicos basados en el proceso dominante, y regiones ecogeográficas definidas por las variables morfométricas: forma, proceso geomorfológico, pendiente, altura relativa y tipo de roca (Ortiz *et al.*, 2005).

**Mapa de uso del suelo y vegetación.** El mapa de uso del suelo y vegetación (escala 1: 250 000) se obtuvo mediante la clasificación supervisada de imágenes SPOT de 2008 y 2009, utilizando un sistema de información geográfica (SIG), que integra información de López (1994), Novelo y Ramos (2005),

Pennington y Sarukhán (2005), y datos de 800 sitios sobre uso del suelo, tipos de vegetación y especies; además, se aplicó un cuestionario a 120 productores para conocer el manejo de los cultivos (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

**Mapa de capacidad agrológica.** La clasificación por capacidad agrológica (IMTA, 1989; Sonter y Lawrie, 2007) se basó en datos físicos y químicos de 106 perfiles, un mapa de suelos a escala 1:250 000, información de relieve y pendiente de las regiones ecogeográficas (Zavala-Cruz *et al.*, 2013).

**Mapa de compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica.** Los criterios de evaluación de la compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica se generaron con base en la información de la CRG. El mapa a escala 1: 250 000 se elaboró mediante superposición de los mapas de uso del suelo y su capacidad agrológica, aplicando álgebra de mapas en un SIG.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ambientes y regiones ecogeográficas

En el ambiente Planicie Costera del Golfo (51.8%) sobresalen geofomas deposicionales de planicies (Figura 1) con sedimentos no consolidados del Cuaternario Holoceno, su altura y pendiente son menores a 50 m de altitud y 2 %, respectivamente. De la costa hacia el interior de la cuenca se presentan las regiones ecogeográficas: a) planicie costera de cordones de playa (PCCP) en sedimentos marinos arenosos; b) planicie baja de inundación lagunar (PBIL) en sedimentos fluviomarinos arcillosos y arenosos, y c) planicie fluvial (PF) edificada por sedimentos limosos, arcillosos y orgánicos

depositados por ríos y pantanos; las dos últimas están expuestas a inundaciones de temporales a permanentes. La terraza (T) sobre sedimentos detríticos (arenisca, lutita, conglomerado y limolita) del Mioceno y Plioceno, es modelada por denudación, resultando relieves ondulados con alturas y pendientes de 10 a 70 m y de 2 a 11%, respectivamente.

El ambiente SNCH (46.8%) tiene alturas de 40 a 1800 m, pendientes desde 4 a 100 % y rocas sedimentarias detríticas del Eoceno al Plioceno, y calizas del Cretácico Superior al Mioceno. Sobresalen las regiones ecogeográficas (Figura 1): a) Valle erosivo-acumulativo (VEA) sobre sedimentos aluviales y detríticos, en pendientes menores a 15 %; b) Lomerío (L) en sedimentos detríticos modelados por denudación y erosión, en pendientes de 6 a 40 %; el lomerío en rocas calizas desarrolla relieves kársticos; c) Rampa de pie de monte (RPM) del volcán Chichónal en brecha volcánica del Pleistoceno, evidencia denudación y erosión en pendientes de 6 a 25 %; d) Ladera inclinada (LI) sobre sedimentos detríticos y calizas, modelada por erosión y karsificación en pendientes de 25 a 100 %; e) Ladera inclinada y escarpada (LIE) en calizas, revela karsificación y erosión en pendientes de 50 % a 100 %. El ambiente ACH (1.4 %) se situó entre 1800 y 2500 m, el proceso de karsificación origina regiones ecogeográficas de dolinas y mogotes (DM) y niveles de cumbres (NC) sobre calizas, en pendientes de 10 a 100 % (Figura 1).

### Uso del suelo y vegetación

En la CRG prevalecen usos del suelo de pastizal cultivado e inducido (PCI) (37.1 %), vegetación secundaria (VS) (27 %) e hidrófita (VH) (11.9 %), vegetación arbórea (8.7 %) de selva alta y mediana perennifolia (SAMP), selva baja y mediana perennifolia (SBMP), bosque de pino-encino (BPE) y bosque mesófilo de montaña (BMM); y cultivos (7.8 %) diferenciados en perennes (CP), semi-perennes (CS), anuales (CA) y plantaciones forestales (PF); el pastizal natural (PN) y las áreas urbanas y suelo desnudo (AUSD) ocupan superficies menores (Figura 2 A). Por ambiente geomorfológico, sobresalen los usos PCI (27.2%) y VH (11.5%) en la PCG; VS (21.1%), PCI (10.6%), SAP, BPE y BMM (6.8%) en la SNCH; así como BPE y CA en los ACH. Respecto al uso agrícola, los productores entrevistados indicaron que destinan mayor superficie al pastizal cultivado para la ganadería bovina, maíz (*Zea mays* L.), café (*Coffea arabica* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); la producción es para el autoconsumo y el mercado local.

### Capacidad agrológica

Las clases de capacidad agrológica (Figura 2 B) I a IV (36.9 %) agruparon suelos aptos para uso agrícola, plantaciones forestales y pastizales, prevalecen en la PCG, en regiones ecogeográficas de planicies con suelos Fluvisoles, Gleysoles y Vertisoles, cuyas limitantes se asocian a inundación y manto freático;

en la terraza prevalecen los suelos Alisoles, Acrisoles y Luvisoles, las restricciones son por riesgo a erosión, pendiente y fertilidad. Las clases V y VI (38 %) integran suelos aptos para pastizales y plantaciones forestales, tienen mayor presencia en la SNCH y ACH, sobre Alisoles, Luvi-

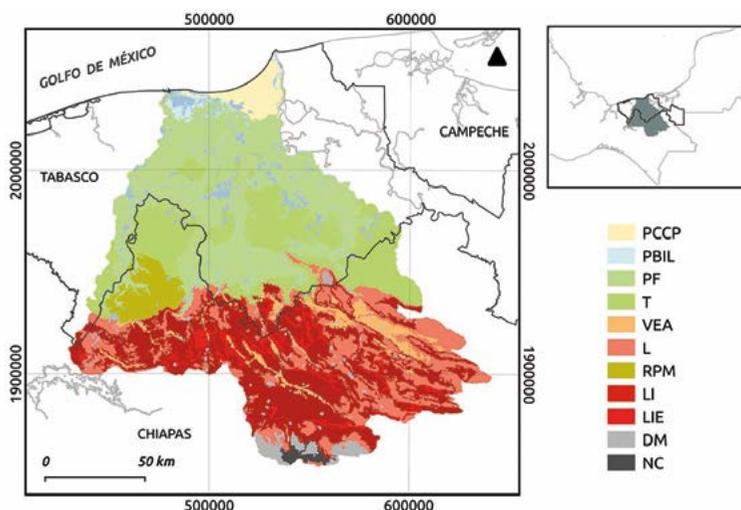
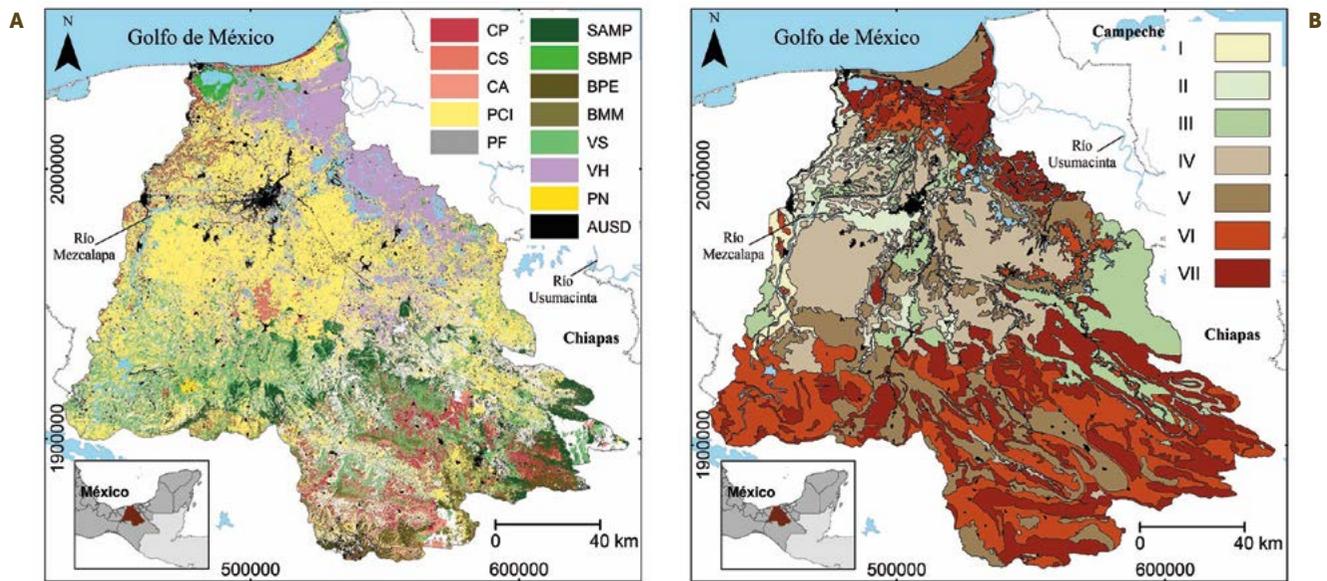


Figura 1. Regiones ecogeográficas de la Cuenca del Río Grijalva.

soles, Cambisoles y Acrisoles, y en menor extensión en Nitisoles y Lixisoles; sus mayores limitantes son por riesgo a erosión, pendiente y profundidad del suelo. La PCG presenta tierras de clase V en Arenosoles limitados por textura, y clases V y VI en Gleysoles demeritados por inundación y manto freático. La clase VII (21.9 %), solo apta para conservación de la vida silvestre, tiene mayor superficie en la SNCH y ACH, sobre Leptosoles con limitaciones extremas por riesgo a erosión, pendiente y profundidad; en la PCG los Histosoles y Solonchaks son restringidos por inundaciones severas y salinidad.

### Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica

Los criterios de evaluación de la compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la CRG se presentan en el Cuadro 1.



**Figura 2.** A: Uso del suelo y vegetación de la cuenca del Río Grijalva. B: Capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva.

La compatibilidad de los usos del suelo y la capacidad agrológica reveló los siguientes niveles en la CRG: compatible (C) 65.4 %, moderadamente compatible (MC) 8.7 %, e incompatible (I) 5.5 % (Figura 3). El área de uso incompatible representa 1178.6 km<sup>2</sup>, y destaca sobre tierras de clase VII (Figura 4) con Leptosoles, y en menor grado en las clases V y VI sobre Alisoles, Luvisoles, Cambisoles y Acrisoles. Estos suelos se caracterizan por presentar alto riesgo de erosión al localizarse en pendientes accidentadas de lomeríos, laderas inclinadas y escarpadas, dolinas y mogotes, en los ambientes SNCH y ACH (Figura 5). Pequeñas áreas de uso incompatible se observan en la clase VII, sobre Histosoles de la planicie fluvial, en el ambiente PCG.

Las zonas de uso incompatible concuerdan con superficies de la CRG reportadas con erosión potencial alta a extrema (Montes-León *et al.*, 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013), las variables limitantes son similares a las descritas en este estudio, como pendientes escarpadas mayores a 25 % y suelos delgados de tipo Leptosol (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Las áreas de uso incompatible revelan un complejo de limitantes asociadas a usos no sustentables (cultivos anuales y pastizales) que rebasan la capacidad de uso, y por consiguiente, la deforestación sobreexpone a los suelos de las laderas a la acción de la lluvia, la escorrentía superficial y la erosión hídrica (Porta *et al.*, 2014). La ubicación geográfica de estas áreas, orienta a los tomadores de decisiones para implementar progra-

**Cuadro 1.** Matriz de compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva.

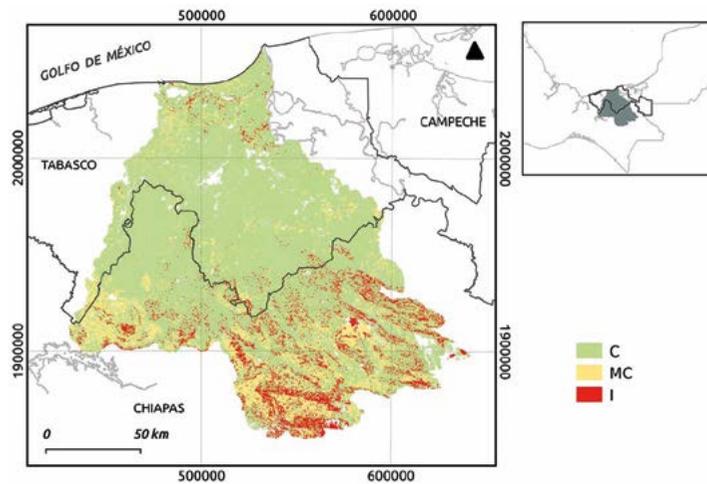
Uso del suelo		Capacidad agrológica y compatibilidad <sup>1</sup>							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Agricultura	Perennes	C	C	MC	MC	MC <sup>3</sup>	MC <sup>3</sup>	I	I
	Semiperennes	C	C	MC	MC	I	I	I	I
	Anuales	C	C	MC	MC	I	I	I	I
Ganadería	Pastizal cultivado e inducido	C	C	C	C	C	MC	I	I
Forestal	Plantaciones forestales	C	C	C	C	C	MC	I	I
Vegetación <sup>2</sup>	Natural y secundaria	C	C	C	C	C	C	C	C
<sup>1</sup> Compatibilidad	C	Compatible: los usos del suelo están abajo de la capacidad agrológica y no degradan el suelo.							
	MC	Moderadamente compatible: los usos del suelo están a nivel de la capacidad agrológica y pueden degradar el suelo por mal manejo.							
	I	Incompatible: los usos del suelo rebasan la capacidad agrológica y degradan el suelo.							
<sup>2</sup> Vegetación natural y secundaria: bosque, selva, vegetación secundaria, vegetación hidrófita, pastizal natural.									
<sup>3</sup> Cultivos perenes de café y cacao bajo sombra.									

mas de conservación y reordenación de usos del suelo.

Cabe aclarar que el 57.9 % de la superficie de la SNCH y ACH está cubierta de vegetación natural (selvas, bosques y secundaria) y se clasifica como uso compatible con la capacidad de uso, ya que la vegetación arbórea de las laderas atenúa el impacto de las gotas de lluvia, evita el desprendimiento de partículas, frena la velocidad de circulación del agua de escorrentía superficial y protege al suelo contra la erosión hídrica (Porta *et al.*, 2014); por consiguiente la vegetación es el uso más adecuado para tierras con severas limitaciones para las actividades agrícolas. En contraste, Montes-León *et al.* (2011) y Sánchez-Hernández *et al.* (2013) incluyen las tierras con vegetación natural como áreas degradadas o con alto riesgo a la erosión, lo cual se explica por procesos geomorfológicos modeladores de laderas, caracterizadas por ser poco estables, de mayor escurrimiento superficial, de tránsito de materiales y susceptibles a la erosión, con suelos sometidos a rejuvenecimiento (Cajuste-Botemps y Gutiérrez-Castorena, 2011; Porta *et al.*, 2014).

Las zonas moderadamente compatibles concuerdan con tierras de clase V y VI (Figura 4) situadas en suelos similares a los de uso incompatible, sobre colinas y laderas con pendientes moderadas a inclinadas, donde el uso del suelo está en el límite de la capacidad agrológica para pastizales y plantaciones forestales; se ubican en zonas de erosión potencial alta a extrema (Montes-León *et al.*, 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Estudios en zonas de moderada compatibilidad en la SNCH, evidencian procesos de degradación por manejo inadecuado del suelo. En lomeríos y laderas de la CRG, en Tabasco, México, generalmente con pastizales cultivados, reportan pérdidas de suelo de 25 a 200 t ha<sup>-1</sup> cada año asociadas a erosión hídrica en pendientes de 2 a 72 % (Palma-López *et al.*, 2008; Zavala-Cruz *et al.*, 2012), erosión

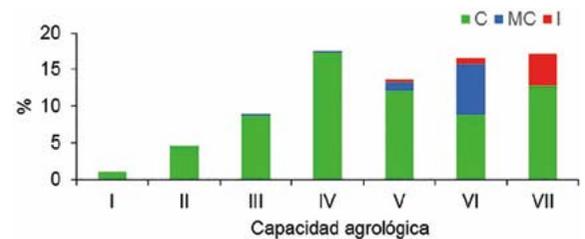
subsuperficial a través de sumideros y túneles en Leptosoles sobre pendientes del 9 %, así como erosión superficial, cárcavas y movimientos en masa en Leptosoles, Vertisoles y Luvisoles asociados a pendientes de 9 a 51 % (Geissen *et al.*, 2007; Geissen *et al.*, 2008). El proceso de degradación es inducido por las actividades humanas que destruyen la cubierta vegetal sin respetar la capacidad de uso o aptitud de los suelos, llevando posteriormente a la pérdida por erosión (Granada-Isaza *et al.*, 2013); en la CRG la deforestación para usos agrícolas inició a mediados del siglo XX, alcanzando tasas entre las más altas del mundo (Muñoz-Salinas y Castillo, 2015), en suelos de piedemontes, lomeríos y laderas con potencial agropecuario medio



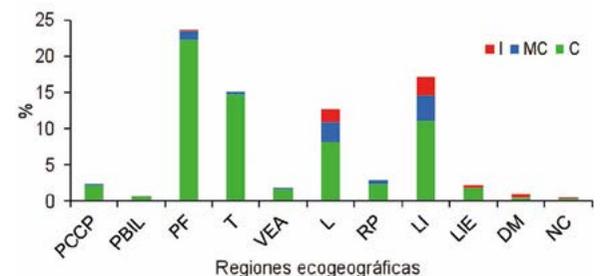
**Figura 3.** Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible; MC Moderadamente compatible; I Incompatible.

Las áreas de uso incompatible en planicies fluviales de la PCG indican el avance de los pastizales cultivados sobre tierras sin capacidad de uso agropecuario, debido a las limitaciones severas por inundación y manto freático de los Histosoles; su exposición a la erosión potencial es baja (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013).

sin respetar la capacidad de uso o aptitud de los suelos, llevando posteriormente a la pérdida por erosión (Granada-Isaza *et al.*, 2013); en la CRG la deforestación para usos agrícolas inició a mediados del siglo XX, alcanzando tasas entre las más altas del mundo (Muñoz-Salinas y Castillo, 2015), en suelos de piedemontes, lomeríos y laderas con potencial agropecuario medio



**Figura 4.** Compatibilidad de uso del suelo y capacidad agrológica en la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible, MC Moderadamente compatible, I Incompatible.



**Figura 5.** Compatibilidad de uso del suelo en regiones ecogeográficas de la cuenca del Río Grijalva. Claves: C Compatible, MC Moderadamente compatible, I Incompatible.



a bajo, desaprovechando su potencial para uso forestal (Bollo-Manent *et al.*, 2010).

Algunas áreas de uso moderadamente compatible se ubican en tierras de clase III y IV sobre terrazas del ambiente PCG y valles de la SNCH, las limitantes por riesgo a erosión son menores para pastizales y altas para cultivos, debido a que la pendiente se suaviza (<12%), denotando superficies con sistemas agropecuarios que deben manejarse con prácticas sustentables, ya que en estas regiones se reporta erosión potencial baja a media (Palma-López *et al.*, 2008; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013).

En las zonas de uso incompatible, se recomienda implementar programas de cambio de uso del suelo a sistemas agroecológicos sustentables: plantaciones agroforestales y/o silvopastoriles, cultivos perennes bajo dosel arbóreo, cercos vivos y barreras verdes, manejo de vegetación secundaria y conservación de relictos de bosques y selvas. En las zonas de uso moderadamente compatible, se requiere adoptar prácticas de manejo agroecológico sustentable de los sistemas agropecuarios.

## CONCLUSIONES

La cuenca del Río Grijalva (CRG) presentó una incompatibilidad del uso del suelo con la capacidad agrológica en 5.5 % (1178.6 km<sup>2</sup>) de su área, lo cual muestra un riesgo a erosión hídrica como consecuencia del uso agrícola y pecuario en suelos con severas limitaciones (como los Leptosoles), sobre regiones ecogeográficas inclinadas de la Sierra Norte de Chiapas (SNCH) y Altos de Chiapas (ACH). Se recomienda impulsar programas de reconversión de usos agropecuarios a sistemas agroecológicos sustentables para coadyuvar a la conservación de los suelos. En tierras con usos moderadamente compatibles con las clases V y VI, en laderas de los ambientes SNCH y ACH, y en terrazas de la Planicie Costera del Golfo, se requiere impulsar programas de manejo sustentable de suelos a fin de evitar su degradación.

## AGRADECIMIENTOS

A FOMIX CONACYT Tabasco por el financiamiento del proyecto TAB-2007-C10-82422/03.

## LITERATURA CITADA

- Bollo-Manent M., Hernández-Santana J. M. 2008. Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones Geográficas* 66: 7-24.
- Cajuste-Bontemps L., Gutiérrez C. M. C. 2011. El factor relieve en la distribución de los suelos en México. En: Krasilnikov P., Jiménez-Nava F. J., Reyna-Trujillo T., García-Calderón N. E. (Eds). *Geografía de suelos de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp: 73-84.
- Cotler H., Sotelo E., Domínguez J., Zorrilla M., Cortina S., Quiñones L. 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83: 5-71.
- Geissen V., Kampichler C., López de Llergo-Juárez J. J., Galindo-Alcántara A. 2007. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: Development of a decision tree modeling approach. *Geoderma* 139: 277-287.
- Geissen V., López de Llergo-Juárez J. G., Galindo-Alcántara A., Ramos-Reyes R. 2008. Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México. *Agrociencia* 42: 605-614.
- Granada-Isaza C. A., Ventura-Ramos E., Baumann J., Oropeza-Mota J. L., Mobayed-Khodr N. 2013. Efecto del estado de degradación en la respuesta hidrológica de dos unidades de escurrimiento en la cuenca del río La Sierra, México. *European Scientific Journal* 9 (21): 194-210.
- IMTA. 1989. Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de Taxonomía de Suelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca. 302 p.
- INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. 200 p.
- López M. R. 1994. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. 123 p.
- Montes-León M. A. L., Uribe-Alcántara E. M., García-Celis E. 2011. Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua* 11 (1): 5-17.
- Muñoz-Salinas E., Castillo M. 2015. Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *Catena* 127: 270-278.
- Novelo A., Ramos L. 2005. Vegetación acuática. En: Bueno J., Álvarez F. Santiago S. (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 p.
- Ortiz P. M. A., Siebe C., Kram S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. En: Bueno J., Álvarez F. Santiago S. (Eds.) *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. 386 p.
- Palma-López D. J., Moreno C. E., Rincón R. J. A., Shirma T. E. D. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa. 74 p.
- Pennington T. D., Sarukhán J. 2005. Manual para la identificación de las principales especies de árboles tropicales de México. Fondo de Cultura Económica. México. 525 p.
- Porta J., López-Acevedo M., Poch R. M. 2014. Edafología uso y protección de suelos. Mundi-Prensa. Madrid. 608 p.
- Sánchez-Hernández R., Mendoza-Palacios J. D., De la Cruz R. J. C., Mendoza M. J. E., Ramos-Reyes R. 2013. Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG. *Universidad y Ciencia* 29: 153-161.
- Sonter R. O., Lawrie J. W. 2007. Soils and rural land capability. En: Charman P. E. V., Murphy B. W. (Eds). *Soils their properties and management*. Oxford University Press. South Melbourne. 461 p.
- Zavala-Cruz J., Palma-López D. J., Fernández-Cabrera C. R., López-Castañeda A., Shirma-Tórres E. 2012. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados, PEMEX. Villahermosa. 90 p.
- Zavala-Cruz J., Castillo-Acosta O., Ortiz-Pérez M. A., Córdova-Ávalos V., Palma-López D. J., García-López E., Guerrero-Peña A., Salgado-García S., Obrador-Olán J. J. 2013. Geomorfología, suelo y vegetación de la cuenca del Río Grijalva. En: Frías-Márquez D. M., Guillén-Landero R. (Eds.). *Avances de investigación de la Red Académica Sobre Desastres en Tabasco*. FOMIX Tabasco, UJAT, CCYTET, COLPOS, ECOSUR. Villahermosa. 204 p.