
CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN PLANICIES FLUVIALES COSTERAS: EL CASO DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

JOEL ZAVALA-CRUZ, MARCOS A. MORALES-GARDUZA,
LUIS M. VARGAS-VILLAMIL, DAVID J. PALMA-LÓPEZ Y
CARLOS A. ORTIZ-SOLORIO

RESUMEN

Varias ciudades de México ubicadas en planicies fluviales costeras están expuestas a inundaciones que causan severas pérdidas sociales y económicas, por lo que se requiere zonificar las tierras aptas para planificar el desarrollo urbano. Se adoptó la zona periurbana de Villahermosa (ZPV), Tabasco, con una superficie de 103.285,6ha, como caso de estudio para aplicar el modelo Índice de Capacidad de Uso del Suelo Urbano (ICUSU), con un enfoque práctico para estimar la capacidad de uso del suelo urbano en una planicie fluvial representativa, con base en factores y variables limitantes. Los factores seleccionados por su incidencia en el uso urbano fueron relieve, inundación, pendiente, suelo y uso del suelo, los cuales aportan información sobre limitantes físicas. La cartografía detallada y las variables de los factores

se analizaron mediante algebra de mapas en un sistema de información geográfica. En la ZPV las clases de capacidad de uso del suelo urbano I y II (14,1%), sin y con menores limitaciones físicas, corresponden a lomeríos ondulados; en la clase II el uso urbano debe protegerse contra inundaciones raras. Las clases III a V (71,3%) con limitaciones físicas moderadas a muy severas por inundaciones ocasionales a muy frecuentes, se asocian a planicies fluviales y lomeríos bajos situados alrededor de Villahermosa; no se recomiendan para uso urbano pero pueden integrarse como zonas de uso agropecuario sustentable, reservas ecológicas y servicios ambientales. La aplicación del modelo ICUSU demostró ser útil para evaluar la capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales costeras.

En las planicies costeras de México se ubican 25 ciudades que, contando con más de 100000 habitantes, se desarrollan parcial o totalmente sobre planicies fluviales que se inundan periódicamente, afectando viviendas, servicios, infraestructura, agricultura y vidas humanas (Gutiérrez-de MacGregor y González-Sánchez, 2007; Oropeza-Orozco *et al.*,

2007). Villahermosa, estado de Tabasco, una ciudad costera del sureste de México con una población de 644629 habitantes (SAOP, 2011), desde 1960 se expandió sobre terrenos bajos que sufrieron cuatro inundaciones extraordinarias entre 1999 y 2009 (Vaquera-Huerta y Aguirre, 2012; Capdepon-Ballina y Marín-Olán, 2014). En 2007 una inundación cubrió el 80% del estado, ocasionó pérdidas por US\$

$3,1 \times 10^9$ y afectó a $1,2 \times 10^6$ habitantes; las causas fueron lluvias máximas históricas, infraestructura insuficiente para controlar los escurrimientos fluviales, cambio de uso del suelo forestal a agrícola, desarrollo urbano sobre riberas de cuerpos de agua y ausencia de planeación territorial integrada (Perevochtchikova y Lezama-de la Torre, 2010; Vaquera-Huerta y Aguirre, 2012). Para proteger la ciudad se

PALABRAS CLAVE / Capacidad de Uso Urbano / Planicie Fluvial / Terraza / Uso del Suelo Urbano /

Recibido: 20/03/2015. Modificado: 11/04/2016. Aceptado: 15/04/2016.

Joel Zavala-Cruz. Doctor en Ciencias en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, COLPOS-Tabasco, México.

Marcos A. Morales-Garduza. Maestro en Ciencias en Producción Agroalimentaria del Trópico, COLPOS, México. Investigador, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, México. Dirección: Calle Centenario del Instituto Juárez s/n, Col. Reforma, C.P. 86080. Villahermosa, Tabasco, México. e-mail: morales.marcos@colpos.mx

Luis M. Vargas-Villamil. Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), México. Profesor Investigador, COLPOS-Tabasco, México.

David J. Palma-López. Doctor en Ciencias en Génesis y Clasificación de Suelos, Institut National Polytechnique de Lorraine, Francia. Profesor Investigador, COLPOS-Tabasco, México.

Carlos A. Ortiz Solorio. Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Profesor Investigador, COLPOS-Montecillo, México

implementó un plan hídrico basado en obras estructurales (bordos de contención, muros, canales, compuertas) y la reubicación de algunos asentamientos humanos, con un costo de US\$ 632,6×10⁶, pero la ciudad continúa creciendo en zonas bajas expuestas a inundaciones (Capdepont-Ballina y Marín-Olán, 2014; Restrepo, 2014) tanto fluviales como pluviales.

La ocupación humana de las llanuras de inundación se explica por el acceso al agua, suelos fértiles, materiales de construcción, facilidad para el transporte e importancia económica y militar (Gutiérrez-Elorza, 2009; Franco-Idarraga, 2010). En las últimas décadas, el crecimiento acelerado de las ciudades y de las actividades económicas sobre relieves fluviales, y la inadecuada interacción entre los ríos y las sociedades ribereñas, ha incrementado la exposición a las inundaciones (Espejo-Gil *et al.*, 2008; Franco-Idarraga, 2010; Ferrando-Acuña y de Luca, 2011), siendo el desastre natural con mayor repercusión socioeconómica a escala mundial (Ortega-Álvarez, 2008). Por ello se requiere desarrollar métodos que coadyuven a la planeación de los asentamientos humanos en planicies fluviales de zonas costeras.

En ese sentido, la evaluación de tierras por capacidad de uso permite delimitar unidades ambientales que poseen propiedades y limitaciones semejantes, que responden de igual manera a la implementación de una actividad (Añó-Vidal *et al.*, 2005), y pueden ser utilizadas como marco espacial para la toma de decisiones (Murdoch, 2004) y contribuir al crecimiento planificado de ciudades, tomando en cuenta factores ambientales que inciden en el uso urbano como lo son las inundaciones, el relieve, la pendiente, el suelo y el uso del suelo (Hicks y Hird, 2007; Scornik, 2007; Yan, 2008; Pereyra *et al.*, 2010), cuya relevancia se manifiesta en forma de riesgos ambientales y limitantes físicas. La inundación es la amenaza que causa más impacto a las poblaciones asentadas en planicies aluviales (Olcina, 2004), y se recomienda zonificar según su frecuencia (Schoeneberger *et al.*, 2002; Scornik, 2007) y las zonas susceptibles asociadas a relieves fluviales activos (Romo y Ortíz-Pérez, 2001; Garnica-Peña y Alcántara-Ayala, 2004; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009; Segura-Beltrán, 2009; Ferrando-Acuña y de Luca, 2011; Silva *et al.*, 2011). El relieve y la pendiente aportan información valiosa para orientar el desarrollo urbano; las laderas con inclinación <25% son adecuadas para el uso residencial, industrial, comercial y recreacional; las planicies aluviales con pendiente <5% no son aptas para

urbanizar por el peligro de inundarse, por tener un manto freático elevado, y por la posibilidad de encharcamiento y de sufrir erosión fluvial, pero pueden ser usadas como espacios abiertos, campos recreativos y reservas de agua; finalmente, las geoformas con pendiente >30% son inadecuadas para el uso urbano por el alto riesgo de movimientos en masa y erosión (Dai *et al.*, 2001; Svoray *et al.*, 2005; Hicks y Hird, 2007). En el suelo, que es la base de las construcciones y la infraestructura en zonas urbanas y también puede proveer servicios ambientales a las ciudades (Cram *et al.*, 2008), se considera el análisis de características físicas y químicas tales como profundidad, permeabilidad, arcillas expandibles, drenaje del perfil, nivel freático, materia orgánica, salinidad, pH, riesgo de erosión, rocosidad, pedregosidad y capas endurecidas, para evaluar la aptitud de uso para el desarrollo urbano (IMTA, 1989; Porta y López-Acevedo, 2005; Hicks y Hird, 2007). Con respecto al uso de suelo, un cambio hacia un uso urbano afecta el funcionamiento del ecosistema y favorece su fragmentación, degrada el suelo por sellamiento o impermeabilización (Añó-Vidal *et al.*, 2005; Cram *et al.*, 2008; UNFPA, 2007; García-Rodríguez y Pérez-González, 2011), y si se lleva a cabo en zonas inundables produce efectos de barrera del flujo de agua (Segura-Beltrán, 2009). Algunas consecuencias de estas acciones son inundación, pérdida de biodiversidad y déficit en la recarga de acuíferos; la solución de estos problemas demanda altas inversiones y solo se resuelven parcialmente (Cram *et al.*, 2008). Para mejorar la calidad de vida de los habitantes de zonas urbanas y minimizar la exposición a los peligros ambientales, en particular las avenidas fluviales, se requiere integrar las tierras al uso urbano con base en usos compatibles que favorezcan la conservación de las áreas verdes como patrimonio natural y cultural (Cram *et al.*, 2008; Franco-Idarraga, 2010; Barber-Arlandis *et al.*, 2012).

En este estudio se evalúa la capacidad de uso del suelo con fines de urbanización utilizando el modelo generado por Morales-Garduza (2012) para planicies costeras, con el propósito de proveer información espacial que contribuya a la toma de decisiones sobre el desarrollo urbano en zonas aptas, de manera de evitar o mitigar la exposición a inundaciones y restringir dicho uso en tierras con otras limitantes físicas severas. Se adopta la zona periurbana de Villahermosa (ZPV), Tabasco, como caso de estudio representativo de la problemática de los asentamientos humanos en

planicies fluviales costeras de México, cuya población está expuesta a inundaciones recurrentes que impactan las actividades socioeconómicas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se sitúa entre 17°50'47" y 18°08'07"N, y 92°45'47" y 93°04'01"O, en una superficie de 103.285,6ha, al sur de la provincia geomorfológica llanura costera del Golfo de México (García-Arizaga y Lugo-Hubp, 2003). El clima es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, temperatura media anual de 26°C y precipitación media anual de 2000-2500mm (Vidal-Zepeda, 2005). Villahermosa es la ciudad principal, rodeada por los ríos Sierra al este y sureste, Pichucalco y Viejo Mezcalapa al sur, Carrizal al oeste y norte, y Samaria al noroeste; excepto el Samaria, los ríos se unen y forman el río Grijalva, al noreste, y éste se une al río Usumacinta antes de desembocar en el Golfo de México; los ríos forman parte de la red hidrográfica de la región hidrológica Grijalva-Usumacinta, que conduce el 30% del agua dulce de México (INEGI, 2001).

Método

Para evaluar la capacidad de uso del suelo para el desarrollo urbano se adoptó la clasificación propuesta por Hicks y Hird (2007) que establece clases de acuerdo a las limitaciones físicas del terreno para el desarrollo urbano, desde la clase I sin o con escasas limitaciones, hasta la V con limitaciones extremas. Mediante una revisión de las publicaciones de IMTA (1989), Cadiñanos y Meaza (1998), Schoeneberger *et al.* (2002), Porta y López-Acevedo (2005), Hicks y Hird (2007) y Zavala *et al.* (2009), se definieron los factores y variables limitantes para el uso del suelo para el desarrollo urbano en las planicies fluviales costeras (Tabla I). Con esta información, se aplicó el modelo matemático Índice de Capacidad de Uso del Suelo Urbano (ICUSU)= Inundación + pendiente + relieve + suelo + uso de suelo (Morales-Garduza, 2012). La ponderación de los factores fue: inundación 25%, relieve 20%, pendiente 15%, suelo 20% y uso del suelo 20%. A las clases de capacidad de uso de suelo urbano se asignaron los valores: I= 100%, II= 75%, III= 50%, IV= 25% y V= 0%. Para el factor suelo, el 20% del valor total se dividió entre seis variables limitantes (3,3% para cada variable). Una descripción más

TABLA I
FACTORES, VARIABLES Y CRITERIOS PARA ESTABLECER LAS CLASES DE CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN PLANICIES FLUVIALES COSTERAS DE MÉXICO

Factor	Variable	Criterios de las clases de capacidad de uso del suelo urbano				
		I	II	III	IV	V
		Ninguna	Rara	Ocasional	Frecuente	Muy frecuente
Inundación	Frecuencia/100 años	0	1-5	5-50	>50	>50% de los meses del año
Relieve	Planicie fluvial	–	–	Dique natural alto	Dique natural bajo, llanura de inundación	Cubeta de decantación, cauce inactivo
	Lomerío	Alto ligera y moderadamente ondulado	Bajo plano a convexo	Bajo plano a convexo	Bajo plano a cóncavo, valle erosivo, ladera escarpada	Ladera escarpada, valle acumulativo
Pendiente	Planicie fluvial (%)	–	–	2-3	1-2	<1
	Lomerío (%)	1-10	10-20	20-30	>30	>30
Suelo	Profundidad (cm)	>150	100-150	50-100	25-50	<25
	Drenaje	Bueno		Imperfecto	Pobre	Muy pobre
	Manto freático (cm)	>150	100-150	50-100	25-50	<25
	Materia orgánica (%)	<5	5-10	10-15	15-20	>20
	Arcilla expandible 0-75 cm (%)	<30	30-40	40-50	50-60	>60
	CIC (cmol+·kg ⁻¹)	<15	15-25	25-30	30-40	>40
Uso del suelo	Madurez	Fuerte alteración: suelo desnudo, pastizal, cultivos anuales, vegetación ruderal	Vegetación permanente en fase inicial: matorral	Vegetación permanente en fase de recuperación avanzada: secundaria arbórea joven, plantaciones forestales	Vegetación permanente en fase cercana a la madurez: secundaria arbórea, cultivos perennes	Vegetación climax: selva, hidrófita, bosque

detallada del desarrollo del modelo puede encontrarse en Morales-Garduza (2012). Finalmente, el modelo se exportó a la plataforma Forio Simulation y se publicó para su exploración y evaluación en Internet (Forio Business Simulations, 2015).

El modelo ICUSU se alimentó con información cartográfica detallada a escala 1:20000 de cada factor. El relieve se diferenció en regiones ecogeográficas y unidades del relieve (Romo y Ortiz-Pérez, 2001; Ortiz *et al.*, 2005; SGM, 2005). En la región planicie fluviodeltaica (PFD) las unidades del relieve se asociaron con las inundaciones fluviales y tipo de sedimentos (Romo y Ortiz-Pérez, 2001; Garnica-Peña y Alcántara-Ayala, 2004; Sinha *et al.*, 2005; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009), y sus linderos se delimitaron mediante fotointerpretación de ortofotomapas escala 1:15000 (INEGI, 2008). En la región terraza los relieves se zonificaron por su forma, pendiente, altura y tipo de roca (Ortiz *et al.*, 2005; SGM, 2005), y los linderos se interpretaron en un modelo digital de elevación del terreno (MDET) derivado de mapas topográficos escala 1:50000 (INEGI, 1994 y 2000), con curvas de nivel cada 10m, usando el programa ArcMap 9.2. Cada

relieve se verificó en siete sitios, en el campo. El mapa de pendientes se derivó del MDET, agrupando intervalos para uso del suelo urbano (IMTA, 1989; Hicks y Hird, 2007), con el apoyo del software ILWIS 3.

Para elaborar el mapa de frecuencia de inundaciones en 100 años, en las unidades del relieve se aplicaron cuestionarios a 132 habitantes con residencia permanente en el sitio y edad promedio de 52 años, a fines de conocer el número de veces que se presentan las inundaciones, altura de la lámina de agua y tiempo de afectación. Se utilizaron los criterios establecidos por Schoeneberger *et al.* (2002): ninguna, rara, ocasional, frecuente y muy frecuente (Tabla I).

El mapa de suelos se elaboró con base en la descripción y clasificación de 52 perfiles edafológicos que se ubicaron en transectos de acuerdo a la variación del relieve, en sentido perpendicular a los ríos en la PFD y de la base a la cima en las terrazas. En cada perfil se describieron horizontes morfológicos (Cuanalo, 1990) y se colectó 1kg de suelo; las muestras se secaron a la sombra en el laboratorio de suelos, plantas y aguas (LASPA) del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, para

el análisis de las variables necesarias para clasificar suelos acorde a la norma NOM-021RECNAT-2000 (Diario Oficial, 2002) y la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS *et al.*, 2007), y también para las que se establecieron para evaluar la capacidad de uso urbano (Tabla I). Se complementó con información de 49 perfiles publicada por Zavala *et al.* (2009).

El mapa de uso del suelo actual se basó en la clasificación de imágenes de satélite SPOT (Satélites Para la Observación de la Tierra) de 2010 con tamaño de pixel 10x10m, proporcionadas por el Colegio de Postgraduados, y se retomó la clasificación reportada en un mapa de la zona a escala 1:20000 (Zavala *et al.*, 2009) para definir los sitios de entrenamiento y realizar la clasificación supervisada de las imágenes. Para su validación se verificaron 250 sitios en el campo (31 por cada uso del suelo), donde se corroboró el tipo de vegetación y los usos agropecuarios; se obtuvo un índice Kappa del 85%. El proceso de clasificación fue realizado con el software Erdas Imagine 9.2 y la descripción de los usos del suelo se basó en Zavala *et al.* (2009).

La información cartográfica se exportó a formato *raster* y a cada

pixel se le asignó un valor de acuerdo a los criterios mostrados en la Tabla I; esta información se exportó a lenguaje ACCII y se procesó en el módulo *Raster Calculator* del programa Grass 6.4.2. Mediante álgebra de mapas, se ingresó la ecuación del modelo ICUSU y se obtuvo la cartografía en formato raster en escala de 0 a 100%. La reclasificación y agrupación de los píxeles permitió generar el mapa de clases de capacidad de uso del suelo urbano.

Resultados

Relieve y pendiente

En la ZPV domina la región de la PFD (63%), que tiene una altura de 2 a 12msnm, una pendiente general <1% y está formada de sedimentos aluviales acumulados por los ríos en el Cuaternario Holoceno. En sentido perpendicular a los ríos se presentan los siguientes relieves: a) Cauce (1,2%), activo o inactivo dependiendo del flujo de agua permanente o temporal, con sedimentos arenosos. b) Dique natural alto (6%), que se ubica en franjas adyacentes a los cauces, su forma ligeramente convexa revela los sitios más elevados de la PFD, destacando uno a 2m sobre la llanura de inundación, como resultado de la intensa acumulación de limo y arena; las pendientes varían de 1 a 3%. c) Dique natural bajo (12%), situado en una posición topográfica inferior respecto a los diques naturales altos, en zonas de transición con las llanuras de inundación, tiene forma plana y está constituido de sedimentos limosos y arcillosos. d) Llanura de inundación (23%), de forma plana a cóncava sobre sedimentos arcillosos, se sitúa de 1 a 4m por debajo de los diques naturales. e) Cubeta de decantación (15,6%), tiene forma cóncava, y materiales orgánicos sobre arcillas, se ubica de dos a seis metros abajo de los diques naturales. f) Lagunas de agua dulce (5,2%), ocupan las mayores depresiones.

La región terraza (28,9%) tiene forma plana a ondulada, altura de 8-56msnm, pendiente dominante <10%, rocas areniscas y lutitas del Plioceno-Pleistoceno, y ha sido fragmentada por procesos tectónicos y erosión fluvial. De la base a la cima presenta las siguientes clases de relieves: a) Lomerío bajo plano a cóncavo (9,9%) con pendiente de 1-2%, sobresale de 1 a 3m en forma de islas en la PFD y en la base de las terrazas mayores. b) Lomerío bajo plano a convexo (10,8%) con pendiente de 1-5%, entre 8 y 13msnm, en zonas bajas respecto a los lomeríos altos y como islas en la PFD. c) Lomerío alto ligera a moderadamente ondulado (5,4%) con pendiente de 1-30%,

presenta las mayores alturas (14 a 56msnm) y se localiza en el centro, este, sureste, sur y suroeste de la ZPV. d) Valle acumulativo y valle erosivo-acumulativo (2,8%), de forma plana a cóncava, pendiente <3% y se sitúan en transición con la PFD.

Inundación

La frecuencia de inundación, de acuerdo a la información de las personas entrevistadas fue: a) Ninguna, en lomeríos altos ondulados; el 100% respondió que no se inunda. b) Rara (1-5 veces/100 años), en lomeríos bajos planos a convexos y algunos diques naturales altos; el 20% indicó que solo se ha inundado en 2007, durante 5 días, con lámina de agua de 1m. c) Ocasional (5-50/100 años), en diques naturales altos y algunos lomeríos bajos planos a convexos; el 90% mencionó que las inundaciones se presentan en intervalos de 2-20 años, durante 9 días, con lámina de agua de 1,4m. d) Frecuente (>50 veces/100 años), en llanuras de inundación, diques naturales bajos, lomeríos bajos planos a cóncavos y valles; el 100% mencionó que se inundan 40 a 60 días todos los años, con lámina de agua de 1,4m. e) Muy frecuente (>50% de los meses del año), en cubetas de decantación; el 100% contestó que se inundan todos los años de julio a febrero, con lámina de agua de 3m.

Suelo

Los suelos (Tabla II) son profundos en la ZPV. En la PFD sobresalen los grupos Gleysoles y Fluvisoles (63,2%), seguidos de Vertisoles e Histosoles; son de textura franca y migajón arcillosa en los Fluvisoles, y arcillosa en los Vertisoles y Gleysoles. Los horizontes A y C contrastan al presentar contenidos altos a bajos en materia orgánica (MO) y diferente capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los Histosoles son muy ricos en MO (67%). El color pardo en los Fluvisoles Háplicos (FLha) indica buen drenaje interno, al desarrollarse sobre diques naturales altos, y el color gris (5Y 5/1) en el horizonte subsuperficial Cg de los Fluvisoles Mólicos (FLmo) y Fluvisoles Gléyicos (FLgl) es resultado de procesos de óxido-reducción por drenaje interno pobre en los diques naturales bajos. Las unidades Gleysol Háplico (GLha), Mólico (GLmo) e Hístico (GLhi), Vertisol Gléyico (VRgl) e Histosol Hémico (HShm), tienen horizontes Ag y Cg de colores gris y gris oscuro (5Y 6/1, 5Y 4/1) (Tabla II), que indican gleyzación y drenaje interno muy pobre

desde la superficie, al situarse en llanuras de inundación y cubetas de decantación.

En la terraza prevalecen los grupos Acrisol y Alisol (15,7%), seguidos de Luvisoles, Cambisoles y Lixisoles. Comparten características tales como textura migajón arenosa, franca, migajón arcillosa y arcillosa, horizonte Bt formado por arcilla iluvial, y contenidos medios a bajos en MO y bajos en CIC; esta variable indica baja fertilidad (<15cmol·kg⁻¹). En lomeríos altos ondulados, las unidades Alisol Cutánico (ALct), Acrisol Cutánico (ACct), Luvisol Cutánico (LVct) y Cambisol Háplico (CMha), exhiben colores pardo oscuro, rojo y amarillo parduzco, indicadores de buen drenaje interno. Y en lomeríos bajos planos a ligeramente convexos, las unidades Acrisol Cutánico Gléyico (ACctgl), Alisol Cutánico Gléyico (ALctgl), Lixisol Cutánico Gléyico (LXctgl) y Luvisol Cutánico Gléyico (LVctgl), tienen horizontes sub superficiales Btg y Cg de colores grises (5Y 4/1, 5Y 6/1, 5Y 7/1) típicos del gley asociado a drenaje interno imperfecto por manto freático elevado. Los Gleysoles Álicos (GLal) y Lúvicos (GLlv) de los valles tienen características similares a los GL descritos en la PFD.

Uso del suelo

El pastizal cultivado (53%) para la ganadería sobresale con las especies estrella de África (*Cynodon plectostachium*), humidícola (*Brachiaria humidicola*) y grama amarga (*Paspalum conjugatum*) en lomeríos, y camalote (*Paspalum paniculatum*), Egipto (*Panicum purpurencens*) y Alemán (*Echinochloa polystachya*) en la PFD. Los cultivos perennes de cacao y plátano (1,1%) se localizan en diques naturales, los anuales de maíz (5,2%) se establecen en planicies de inundación, y el uso urbano (11,8%) se ubica tanto en la PFD como en las terrazas.

La vegetación natural (22,4%) se distribuye en relictos de selva mediana subperennifolia de ramón (*Brosimum alicastrum*) en lomeríos; tintal (*Haematoxylum campechianum*) en llanuras de inundación y valles; vegetación secundaria de guarumo (*Cecropia obtusifolia*), jolocín (*Heliconia caribaea*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y jobo (*Spondias purpurea*), y matorral espinoso de zarza (*Mimosa pigra*), en la PFD. La vegetación hidrófita agrupa plantas herbáceas arraigadas al suelo de las especies espadaño (*Typha latifolia*) y popal (*Thalia geniculata*) en cubetas de decantación; y flotadoras de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y pancilla (*Salvinia auriculata* y *S. minima*) en las lagunas.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS EN LA ZONA
PERIURBANA DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

Región	Unidad de suelo	Horizonte		Color gley	Materia orgánica	Arcilla	CIC cmol·kg ⁻¹	Drenaje interno
		Clave	Profundidad cm		%			
PFD	FLha	A	0-50		3,0	44,0	32,6	Bueno
		C	50-150		0,9	29,5	23,5	
	FLmo	A	0-29		2,8	27,0	19,4	Pobre
		Cg	29-150	5Y 4/1	0,7	25,7	14,0	
	FLgl	A	0-13		4,7	27,9	22,1	Pobre
		Cg	13-150	5Y 5/1	0,5	36,2	16,9	
	VRgl	A	1-35		4,0	72,0	54,6	Pobre
		Cg	35-148	5Y 4/1	0,9	77,5	53,1	
	GLha	Ag	0-48	5Y 4/1	3,5	56,0	28,7	Muy pobre
		Cg	48-150	5Y 4/1	0,3	32,7	8,0	
	GLmo	A	0-26		4,0	67,0	29,9	Muy pobre
		Cg	26-145	5Y 4/1	12,3	49,0	22,3	
	GLhi	Oi	0-20		64,0		61,8	Muy pobre
		Cg	20-120	5Y 4/1	4,9	58,7	29,1	
	HShm	Oe	0-75		67,1	11,0	85,7	Muy pobre
		Cg	75-120	5Y 5/1	4,3	80,0	46,0	
Terraza	ACct	A	0-21		6,4	49,0	15,1	Bueno
		Bt	21-110		1,9	68,5	11,3	
		C	110-153		0,3	67,0	14,6	
	ACctgl	A	0-44		0,4	17,0	9,4	Imperfecto
		Bt	44-58		0,3	18,0	4,4	
		Btg	58-110	5Y 6/1	0,3	27,0	5,3	
	ALct	A	0-30		4,9	25,0	14,1	Bueno
		Bt	30-150		1,7	44,3	18,6	
		C	150-175		0,4	33,0	11,0	
	ALctgl	A	0-45		2,0	23,5	7,3	Imperfecto
		Bt	45-80		1,0	38,0	10,4	
		Btg	80-120	5Y 4/1	0,6	52,0	16,7	
	LVct	A	0-17		1,5	15,0	8,3	Bueno
		Bt	17-150		0,8	34,0	10,6	
	LVctgl	A	0-21		3,4	24,0	9,3	Bueno
		Bt	21-105		1,2	41,0	12,2	
Cg		105-150	5Y 7/1	0,2	37,0	13,4		
LXctgl	A	0-39		2,0	22,0	6,6	Imperfecto	
	Bt	39-67		0,6	28,0	5,1		
	Btg	67-127	5Y 7/1	0,5	36,0	8,6		
CMha	A	0-37		1,7	7,0	3,2	Bueno	
	Bt	37-70		0,5	7,0	2,5		
	C	70-89		0,1	7,0	2,3		
GLal	Ag	0-39	5Y 5/1	2,5	42,7	15,7	Muy pobre	
	Btg	39-140	5Y 5/1	0,5	51,3	17,1		
GLlv	Ag	0-37	5Y 4/1	2,2	48,0	28,9	Muy pobre	
	Bt	37-120		12,5	54,0	20,8		

Clases de capacidad de uso del suelo urbano

En la ZPV se diferenciaron cinco clases de capacidad de uso del suelo urbano (Figura 1):

Clase I. Áreas sin limitaciones físicas para el desarrollo urbano (5,4%). Se localizan en lomeríos altos ondulados con pendiente dominante de 1 a 10%, suelos profundos, bien drenados y de baja fertilidad, no se inundan y el uso es de pastizales y urbano.

Clase II. Áreas con limitaciones físicas menores para el desarrollo urbano (8,7%). Tienen factores ambientales similares a la clase I, excepto que presentan inundaciones raras por ubicarse en lomeríos bajos planos a convexos con pendientes de 1-3%, y en algunos diques naturales altos con pendiente <2%.

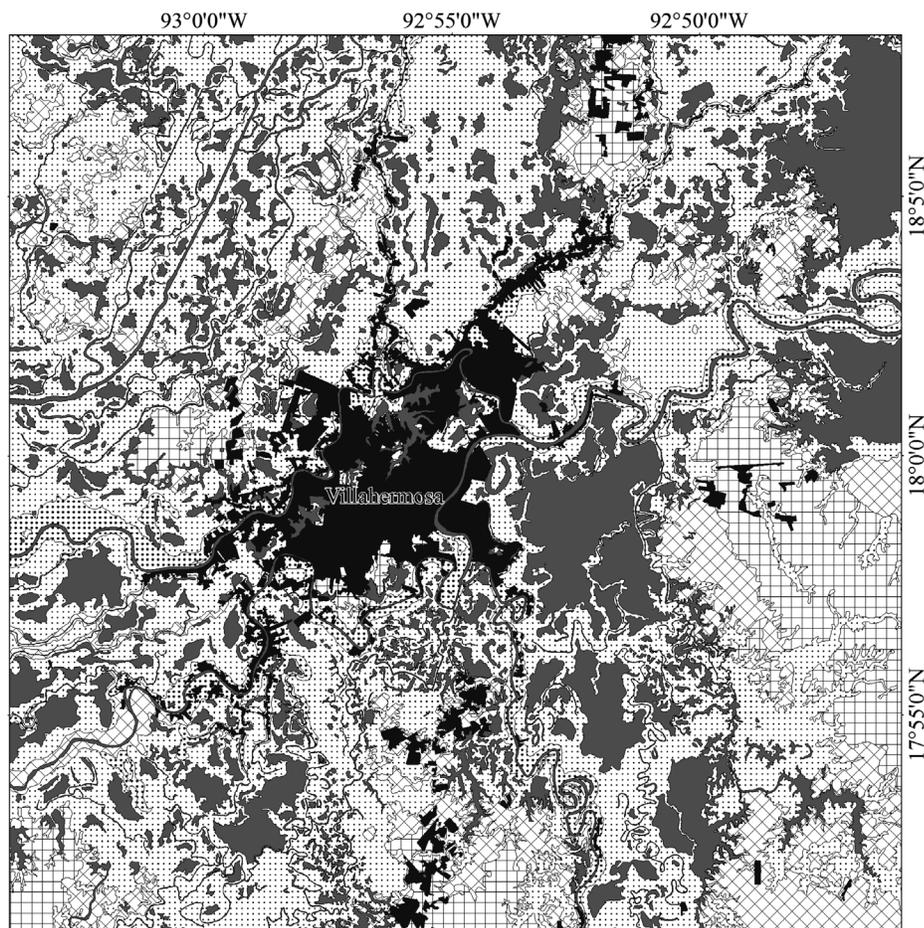
Clase III. Áreas con limitaciones físicas moderadas para el desarrollo urbano (9,4%). Están sujetas a inundaciones ocasionales por situarse en geformas con pendiente <2%; sobresalen los diques naturales altos con suelos fértiles y cultivos perennes, y los lomeríos bajos planos a convexos, de suelos poco fértiles y gleyzados en el horizonte B por manto freático elevado. El uso es de pastizal y urbano.

Clase IV. Áreas con limitaciones físicas severas para el desarrollo urbano (35,9%). Se inundan con frecuencia por situarse en llanuras de inundación, diques naturales bajos, valles erosivos y lomerío bajo plano a cóncavo, tienen pendiente <1%, suelos arcillosos, gleyzados desde la superficie por efecto de las inundaciones y el manto freático elevado. El uso es de pastizales.

Clase V. Áreas no recomendadas para el desarrollo urbano (26%). Presentan inundaciones muy frecuentes, al ubicarse en geformas cóncavas como cubetas de decantación, cauces, lagunas y valles acumulativos, los suelos son arcillosos, orgánicos y gleyzados por manto el freático elevado, y sustentan vegetación natural.

Discusión

La metodología de evaluación aplicando el modelo ICUSU permitió zonificar a una escala 1:20000 las tierras de clase I, sin limitaciones físicas para el desarrollo urbano, en la planicie fluvial costera en torno a la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México; esta clase se relaciona con lomeríos altos situados en la región terraza, y tiene menor superficie comparada con la reportada por Zavala *et al.* (2009) y SAOP (2011).



Clases

-  I. Áreas sin limitaciones físicas
-  II. Áreas con limitaciones físicas menores
-  III. Áreas con limitaciones físicas moderadas
-  IV. Áreas con limitaciones físicas severas
-  V. Áreas no recomendadas

0 2.5 5 10 Km

Figura 1. Clases de capacidad de uso del suelo urbano en la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, México.

Estos autores asignan potencial para crecimiento urbano a la terraza y algunas geformas de la PFD aledañas a Villahermosa, mientras que en este estudio solo el 16,5% de la región terraza corresponde a la clase I y el resto de la superficie de la ZPV se ubicó en las clases II a V, con limitaciones menores a muy severas para desarrollo urbano. Las diferencias en las superficies clasificadas como clase I resultan de la información aportada por los factores de evaluación y la escala de la cartografía utilizada para elaborar el mapa de clases de capacidad de uso del suelo urbano. Este estudio se basa en cartografía de cinco factores (relieve, pendiente, inundación, suelo y uso del suelo) a escala detallada 1:20000,

siendo adecuada para realizar investigaciones de capacidad de uso urbano (Chapman y Atkinson, 2007), y se traducen en variables indicadoras de limitaciones físicas para el desarrollo urbano (Dai *et al.*, 2001; Hicks y Hird, 2007). En contraste, Zavala *et al.* (2009) y SAOP (2011) excluyen los factores relieve y pendiente; el primero utiliza cartografía detallada del suelo y uso del suelo, y el segundo se basa en factores ambientales (geología, suelo, vegetación e inundación) a escala de reconocimiento 1:250000, la cual no es adecuada para evaluar clases de capacidad de uso urbano (Chapman y Atkinson, 2007).

Las tierras de clase I y II en la ZPV, sin y con limitaciones

físicas menores para uso urbano, tienen poca extensión (14,1%) y se sitúan a más de 11km de Villahermosa, y las de clase III a V con moderadas a severas limitaciones físicas para desarrollo urbano, ocupan la mayor superficie (71,3%) y se localizan alrededor de la ciudad. La clase I reúne características físicas favorables para el uso urbano que concuerdan con las reportadas para regiones similares, como terrazas inactivas con relieves positivos convexos, pendientes de 2 a 17%, suelos profundos, bien drenados y estables, no expuestos a inundaciones (Dai *et al.*, 2001; Romo y Ortíz-Pérez, 2001; García-Sancho *et al.*, 2009; Segura-Beltrán, 2009). Su extensión (5577ha) satisface la demanda de reserva territorial para uso urbano estimada en 1187ha para el periodo 2015-2025 en la ZPV (SAOP, 2011). La clase II coincide con terrazas de susceptibilidad baja para inundaciones de tipo extraordinario, por consiguiente el uso urbano debe protegerse con obras estructurales o elevando las construcciones por encima del nivel máximo de crecidas (Romo y Ortíz-Pérez, 2001; García-Sancho *et al.*, 2009).

Las tierras de clase III están expuestas a inundaciones ocasionales y concuerdan con geoformas de llanura fluvial intermedia, morfogenéticamente activas, de susceptibilidad media a las inundaciones y fragilidad ambiental extrema (Romo y Ortíz-Pérez, 2001; García-Sancho *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011). En respuesta a estas restricciones el uso urbano debe ser limitado y condicionado a superar el riesgo de las inundaciones extraordinarias con obras estructurales. Esta clase incluye los suelos Fluvisoles fértiles y aptos para la agricultura, por lo que se requiere adoptar políticas de conservación para evitar el cambio a uso urbano, el cual provoca en primer lugar la pérdida de suelo agrícola de buena calidad y además el sellamiento e impermeabilización del suelo, disminuye la infiltración del agua en el suelo y por lo mismo incrementa el escurrimiento superficial concentrado, y puede contribuir a encharcamientos e inundaciones si no se cuenta con una red de canales y alcantarillado suficiente (Año-Vidal *et al.*, 2005; Cram *et al.*, 2008; Gutiérrez-Elorza, 2009; Franco-Idarraga, 2010; García-Rodríguez y Pérez-González, 2011).

Las tierras de clase IV y V están limitadas por inundaciones frecuentes y mayores a seis meses al año y no son aptas para uso urbano. Concuerdan con geoformas de planicie fluvial activa, zonas bajas y cauces que se inundan casi todos los años hasta toda la época de lluvias, favorecen el desarrollo de suelos hidromórficos (Sinha *et al.*,

2005; Scornik, 2007; García-Sancho *et al.*, 2009) al situarse en una porción de la cuenca baja del río Grijalva, donde el relieve plano a cóncavo tiende a acumular el agua proveniente de la cuenca alta. En consecuencia, son tierras de susceptibilidad alta a las inundaciones fluviales y pluviales (Silva *et al.*, 2011; Vaquera-Huerta y Aguirre, 2012). En estas geoformas el uso habitacional se considera prohibitivo (Romo y Ortíz-Pérez, 2001) y deben ser reservadas al paso de caudales de crecidas y almacenamiento de agua (Dai *et al.*, 2001; Scornik, 2007), manteniéndolas libres de estructuras transversales que obstruyan el flujo del agua, para evitar incremento del riesgo por inundaciones fluviales (Espejo-Gil *et al.*, 2008; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2009; Gutiérrez-Elorza, 2009; Franco-Idarraga, 2010; Montoya *et al.*, 2011). Se recomienda integrarlas al uso urbano mediante usos compatibles con la condición de zona inundable, como son la producción de alimentos agropecuarios, espacios libres para la conservación de la vegetación y valores ambientales, paisajísticos y culturales, y prestación de servicios ambientales que en conjunto contribuyan a disminuir la vulnerabilidad y mejorar la calidad de vida de la población (Cram *et al.*, 2008; Hicks y Hird, 2007; Scornik, 2007; Franco-Idarraga, 2010; Barber-Arlandis *et al.*, 2012).

Conclusiones

La planicie fluvial costera donde se localiza la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, México, tiene escasa superficie de tierras de clase I, sin limitaciones físicas para el desarrollo urbano, y las de clase II están expuestas a inundaciones raras. Se recomienda orientar el crecimiento urbano planificado sobre las tierras de clase I en la región terraza con lomeríos altos ondulados no inundables, y en las de clase II se debe evitar el peligro de las inundaciones mediante obras estructurales. Las tierras de clases III a V tienen limitaciones físicas moderadas a muy severas por inundaciones y no se recomienda el uso urbano, pero pueden integrarse mediante usos compatibles tales como zonas agropecuarias, reservas ecológicas, almacenaje de agua durante las inundaciones y servicios ambientales. La metodología de evaluación de tierras por capacidad de uso del suelo urbano basada en el modelo ICUSU y el análisis de cartografía detallada de los factores relieve, pendiente, inundación, suelo y uso del suelo, demostró ser útil para zonificar las tierras aptas para uso urbano en planicies fluviales costeras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a FOMIX-CONACYT Tabasco por el financiamiento del proyecto TAB-2007-C10-82422/03, a las Secretarías de Marina, de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, y Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, que proporcionaron las imágenes de satélite SPOT de 2010 al Colegio de Postgraduados, y a Edgar Shirma Torres por el diseño de la cartografía.

REFERENCIAS

- Andrade B, Arenas F, Lagos M (2010) Incorporación de criterios de fragilidad ambiental y riesgo en la planificación territorial de la costa de Chile central. *Rev. Geogr. Norte Gde.* 45: 5-20.
- Año-Vidal C, Pascual-Aguilar JA, Sánchez-Díaz J (2005) Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. *Inv. Geogr.* 38: 65-77.
- Arnaud-Fassetta G, Astrade L, Bardou E, Carbonnois J, Delahaye D, Fort M, Gautier E, Jacob N, Peiry JL, Piégay H, Penven MJ (2009) Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Geomorphologie: relief, processus, environnement.* <http://geomorphologie.revues.org/7554>.
- Barber-Arlandis G, Trapote-Jaume A, López-Garaulet J (2012) El plan global frente al riesgo de inundación en la ribera del Júcar. *Inv. Geogr.* 57: 149-168.
- Cadiñanos JA, Meaza G (1998) *Bases para una Biogeografía Aplicada: Criterios y Sistemas de Valoración de la Vegetación.* Geofoma. Logroño, España. 144 pp.
- Capdepon-Ballina J, Marín-Olán JL (2014) La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). *Rev. LiminaR Est. Soc. Humaníst.* 12: 144-160.
- Chapman GA, Atkinson G (2007) Soil survey and mapping. En Charman PE, Murphy BW (Eds.) *Soils: Their Properties and Management.* Oxford University Press. Hong Kong. pp. 109-136.
- Cram S, Cotler H, Morales LM, Sommer I, Carmona E (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Inv. Geogr.* 66: 81-104.
- Cuanalo de la CH (1990) *Manual de Descripción de Perfiles de Suelo en el Campo.* Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 40 pp.
- Dai FC, Lee CF, Zhang XH (2001) GIS-base geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Eng. Geol.* 61: 257-271.
- Diario Oficial (2002) *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis.* México. 74 pp.
- Espejo-Gil F, Domenech-Zueco S, Ollero-Ojeda A, Sánchez-Fabre M (2008) La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo. *Bol. AGE* 48: 129-154.

- Ferrando-Acuña FJ, de Luca F (2011) Geomorfología y paisaje en el ordenamiento territorial: valorizando el corredor inferior del río Mapocho. *Inv. Geogr.* 43: 65-86.
- Forio Business Simulations (2015) *Índice de Capacidad de Uso del Suelo Urbano*. http://forio.com/simulate/socram_1982/usuvp.
- Franco-Idarraga FL (2010) Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Rev. Ing. ULA* (Enero-Julio): 97-108.
- García-Ariza MT, Lugo-Hubp J (2003) El relieve mexicano en mapas topográficos. Serie Libros N° 5. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 148 pp.
- García-Rodríguez MP, Pérez-González ME (2011) Sellado de fluviosoles en la comunidad de Madrid. Análisis a partir de imágenes landsat. *Anal. Geogr.* 31: 125-137.
- García-Sancho AG, Bojórquez-Serrano JI, Nájera-González O, García-Paredes JD, Madueño-Molina A, Flores-Vilchez F (2009) Regionalización ecológica de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Inv. Geogr., Bol. Inst. Geogr. UNAM* 69: 21-32.
- Garnica-Peña RJ, Alcántara-Ayala I (2004) Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del Río Tecolutla, Veracruz. *Inv. Geogr., Bol. Inst. Geogr. UNAM* 55: 23-45.
- Gutiérrez-de MacGregor MT, González-Sánchez J (2007) Distribución de la población. En Coll-Hurtado A, Casado-Izquierdo JM (Eds.) *Nuevo Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 100-107.
- Gutiérrez-Elorza M (2009) *Geomorfología*. Prentice Hall. Madrid, España. 898 pp.
- Hicks RW, Hird C (2007) Soils and urban land use. Charman PE, Murphy BW (Eds.) *Soils: Their Properties and Management*. Oxford University Press. Hong Kong. pp. 394-405.
- 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, México. 297 pp.
- INEGI (1994) *Carta Topográfica 1:50000 Villahermosa E15D11 y Reforma E15C19*. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI (2000) *Carta Topográfica 1:50000 Cunduacán E15A89 y Ocuilzapotlán E15B81*. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- INEGI (2001) *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Tabasco*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 89 pp.
- INEGI (2008) *Ortofotomapas Escala 1:15000*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática / Gobierno del estado de Tabasco. Aguascalientes, México.
- IUSS, ISRIC, FAO (2007) *World Reference Base for Soil Resources 2006. A Framework for International Classification, Correlation and Communication*. N° 103. Rome, Italy. 132 pp.
- Montoya JV, Castillo MM, Sánchez L (2011) La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia* 36: 900-907.
- Morales-Garduza MA (2012) *Evaluación de Tierras por Capacidad de Uso Urbano en la Zona Periurbana de Villahermosa, Tabasco*. Colegio de Postgraduados. México. 70 pp.
- Murdoch J (2004) Putting discourse in its place: planning, sustainability and the urban capacity study. *Area* 36.1: 50-58.
- Oropeza-Orozco O, Enríquez-Guadarrama C, Preciado-López JC (2007) Las inundaciones en México. En Coll-Hurtado A, Casado-Izquierdo JM (Eds.) *Nuevo Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 436-441.
- Ortega-Álvarez JM (2008) Riesgo de inundación y ordenación territorial en el área litoral sur de la marina Baixa (Alicante). *Inv. Geogr.* 45: 203-227.
- Ortiz PMA, Siebe C, Cram 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. pp. 305-321.
- Olcina CJ (2004) Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. *Bol. Asoc. Geogr. Esp.* 37: 49-84.
- Perevochtchikova M, Lezama-de la Torre JL (2010) Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *J. Lat. Am. Geogr.* 9: 73-98.
- Pereyra F, Boujon P, Gómez A, Ello N, Tobío MI, Lapido O (2010) Estudio geocientífico aplicado a la evaluación de la aptitud para la urbanización en la cuenca carbonífera de río Turbio, Santa Cruz. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 66: 505-519.
- Porta J, López-Acevedo M (2005) *Agenda de Campo de Suelos*. MundiPrensa. Madrid, España. 541 pp.
- Restrepo I (2014) *Inundaciones y Obras Hidráulicas, Costo*. www.jornada.unam.mx/2014/12/01/opinion/022a1pol
- Romo M de L, Ortiz-Pérez MA (2001) Riesgo de inundación en la llanura fluvial del curso bajo del río San Pedro, Nayarit. *Inv. Geogr.* 45: 6-23.
- SAOP (2011) *Programa de Desarrollo Urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco*. www.saop.gob.mx/saop/publicaciones-estudios-proyectos/estudios/PDUZM/programa/PDUZM_CD_VHSA_FINAL.pdf.
- Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas / Secretaría de Desarrollo Social / UNAM. Villahermosa, México. 191 pp.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC, Broderick WD (2002) *Fiel Book for Describing and Sampling Soils*, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, NE. 221 pp.
- Scornik M (2007) Áreas urbanas vulnerables. Algunas consideraciones para el sector de Resistencia, Chaco. *Cuad. Urb.* 6: 127-150.
- Segura-Beltrán F (2009) Geomorfología, inundaciones y alteración antrópica del espacio inundable: el caso del Riu Girona (Alacant, octubre de 2007). *Bol. AGE* 49: 83-103.
- SGM (2005) *Carta Geológico-Minera Frontera E15-5 y Villahermosa E15-8. Escala 1:250000*. Pachuca, México.
- Silva IHC, Miranda FP, Beisl CH, Landaus L (2011) System for flooding alert in tropical coastal zones using GIS and remote sensing: a case study in Villahermosa, México. *J. Coast. Res.* 57: 1736-1739.
- Sinha R, Jain V, Prasad-Babu G, Ghosh S (2005) Geomorphic characterization and diversity of the fluvial systems of the Gangetic Plains. *Geomorphology* 70: 207-225.
- Svoray T, Bar P, Bannet T (2005) Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat heterogeneity model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landsc. Urban Plan* 72: 337-351.
- UNFPA (2007) Estado de la Población Mundial 2007. Liberar el Potencial del Crecimiento Urbano. Capítulo 5. www.unfpa.org/swp/2007/spanish/chapter_5/index.html.
- Vaquera-Huerta HH, Aguirre-Salado AI (2012) Modelación espacio-temporal de las precipitaciones máximas y estimación de riegos de inundación en el estado de Tabasco. En Martínez RR, Ramírez VB, Rojo MGE (Eds.) *Recursos Naturales y Contaminación Ambiental*. Universidad Autónoma Indígena de México. México. pp. 1-27.
- Vidal-Zepeda R (2005) *Las Regiones Climáticas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. 214 pp.
- Yang X, Gray JM, Chapman GA, Young MA (2008) Soil landscape constraint mapping for coastal land use planning using geographic information system. *J. Coast. Conserv.* 11: 143-151.
- Zavala CJ, Castillo AO, Ortiz CA, Palma-López DJ, Juárez-López JF, Salgado-García S, Rincón-Ramírez JA, Moreno CE, Ramos RR (2009) Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco. Villahermosa, México. 189 pp.

URBAN-LAND USABILITY IN COASTAL FLOODPLAINS: THE CASE OF VILLAHERMOSA, TABASCO, MEXICO

Joel Zavala-Cruz, Marcos A. Morales-Garduza, Luis M. Vargas-Villamil, David J. Palma-López and Carlos A. Ortiz-Solorio

SUMMARY

Several cities in Mexico are located in coastal plains and subject to flooding causing severe social and economic losses, so that zoning the land suitable for urban development planning is required. The peri-urban zone of Villahermosa (ZPV), Tabasco, with an area of 103,285.6ha, was adopted as a case study to apply the model of Urban-Land Usability Index (ICUSU), with a practical approach to estimate the capacity of urban land use in a representative floodplain, based on limiting factors and variables. The factors chosen for their impact on urban use were relief, flood, slope, soil and land use, which provide information about physical limitations. Detailed mapping and factor variables

were analyzed using algebra of maps in GIS. In the ZPV, usability of urban land classes I and II (14.1%), without and with minor physical limitations, correspond to undulating hillocks; in class II urban use should be protected against rare floods. Classes III to V (71.3%) with moderate to severe physical limitations due to occasional to very common floods, are associated with floodplains and low hills around Villahermosa; these classes are not recommended for urban use but can be integrated as sustainable agricultural use areas, ecological reserves and environmental services. Applying the ICUSU model proved useful to evaluate the ability of urban land use in coastal floodplains.

CAPACIDADE DE USO DO SOLO URBANO EM PLANÍCIES FLUVIAIS COSTEIRAS: O CASO DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

Joel Zavala-Cruz, Marcos A. Morales-Garduza, Luis M. Vargas-Villamil, David J. Palma-López e Carlos A. Ortiz-Solorio

RESUMO

Várias cidades do México situadas em planícies fluviais costeiras estão expostas a inundações que causam severas perdas sociais e econômicas, por tanto é requerido o zoneamento das terras aptas para planificar o desenvolvimento urbano. Foi selecionada a área periurbana de Villahermosa (APV), Tabasco, com uma superfície de 103.285,6ha, como caso de estudo para aplicar o modelo Índice de Capacidade de Uso do Solo Urbano (ICUSU), com um enfoque prático para estimar a capacidade de uso do solo urbano em uma planície fluvial representativa, baseada em fatores e variáveis limitantes. Os fatores selecionados por sua incidência de uso urbano foram relevo, inundações, declive, solo e uso do solo, os quais aportam informação sobre limitantes físicas. A cartografia detalhada e as variáveis dos fa-

tores se analisaram mediante álgebra de mapas em um sistema de informação geográfica. Na APV as classes de capacidade de uso do solo urbano I e II (14,1%), sem e com menores limitações físicas, correspondem a colinas onduladas; na classe II o uso urbano deve proteger-se contra inundações raras. As classes III a V (71,3%) com limitações físicas moderadas a muito severas por inundações ocasionais a muito frequentes, se associam a planícies fluviais e colinas baixas situadas ao redor de Villahermosa; não se recomendam para uso urbano, mas podem integrar-se como áreas de uso agropecuário sustentável, reservas ecológicas e serviços ambientais. A aplicação do Modelo ICUSU demonstrou ser útil para avaliar a capacidade de uso do solo urbano em planícies fluviais costeiras.