



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

**POSTGRADO EN PRODUCCIÓN
AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

EVALUACIÓN DE TIERRAS POR CAPACIDAD DE USO URBANO

EN LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA

TABASCO

MARCOS ANTONIO MORALES GARDUZA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2012

La presente tesis titulada: **Evaluación de tierras por capacidad de uso urbano en la zona periurbana de Villahermosa Tabasco**, realizada por el alumno: **Marcos Antonio Morales Garduza**, Bajo la dirección del consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

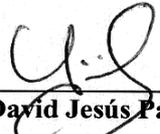
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



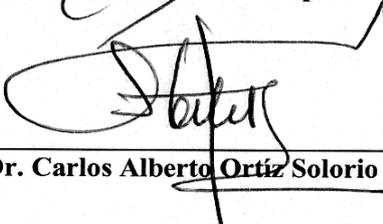
Dr. Joel Zavala Cruz

ASESOR:



Dr. David Jesús Palma López

ASESOR:



Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio

Cárdenas Tabasco a 29 de junio de 2012

RESUMEN

Evaluación de tierras por capacidad de uso urbano en la zona periurbana de Villahermosa Tabasco

Marcos Antonio Morales Garduza, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

En planicies tropicales húmedas del Sureste de México, varias ciudades se asientan en tierras bajas sujetas a inundación, y como alternativa para la planeación de asentamientos humanos, se desarrolló una metodología que evalúa la capacidad de uso del suelo urbano. Mediante revisión bibliográfica se seleccionaron los factores ambientales que presentan mayores restricciones para el uso urbano como inundación, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo. Se diseñó un modelo matemático que determina el Índice de Capacidad de Uso del Suelo Urbano (ICUSU) y se aplicó a la zona periurbana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, que ha sufrido varias inundaciones en las últimas décadas, por ubicarse en planicies fluviales y terrazas. Se generó cartografía a escala 1: 20 000 de los factores ambientales en un área de 103 285.6 ha, y en un Sistema de información Geográfica (SIG) se integró el modelo matemático y generó el mapa de clases de capacidad de uso del suelo. Las clases I y II, sin restricción y ligeras restricciones para uso urbano, coinciden con relieves de terrazas ligeramente a moderadamente onduladas, con suelos Alisoles, Acrisoles, Luvisoles, Cambisoles y Lixisoles; corresponden al 13.7% del área. La clase III presenta moderadas restricciones para uso urbano por inundaciones ocasionales en relieves de diques naturales, lomeríos bajos planos a ligeramente convexos, y suelos Fluvisoles, Cambisoles y Gleysoles Álicos, que cubren el 9.4% del área. Las clases IV y V tienen severas limitaciones para el uso urbano por presentar inundaciones frecuentes en llanuras aluviales bajas, cubetas de decantación, cauces antiguos y valles acumulativos, con suelos Gleysoles, Histosoles y Acrisoles Cutánicos Gléyicos; representan el 61.9% del área. Las tierras de clase I y II se recomiendan para el uso del suelo urbano en la zona periurbana de Villahermosa, pero las de clase II deben protegerse contra inundaciones raras.

Palabras claves: Evaluación, tierras, uso urbano

Evaluation of land use capacity in peri urban Villahermosa Tabasco

Marcos Antonio Morales Garduza, M. C.

ABSTRAC

In humid tropical plains of Southeastern Mexico, several cities settle in lowlands subject to flooding, and as an alternative to human settlements planning, developed a methodology that evaluates the capacity of urban land use. Through literature review were selected environmental factors that have more restrictions for urban use as flood, relief, slope, soil and land use. We developed a mathematical model that determine the Capacity of Urban Land Use Index (ICUSU) and applied to the periurban area of Villahermosa city, Tabasco, which has suffered several floods in recent decades, to be located in floodplain and terraces. Mapping was generated at 1: 20 000 scale of environmental factors in an area of 103 285.6 ha, and a Geographic Information System (GIS) was integrated mathematical model and generated a map of classes of land use capacity. Classes I and II, without restriction and light restrictions for urban use, coincides with reliefs of slightly to moderately undulated hills, with Alisols, Acrisols, Luvisols, Cambisols and Lixisols soils, corresponding to 13.7% of the area. Class III has moderate restrictions for urban use by occasional floods in natural banks, flat to slightly convex hills, and Fluvisols, Cambisols and Gleysols Álicos soils, covering 9.4% of the area. Classes IV and V have severe limitations for urban use by presenting frequent flooding in low alluvial plains, decantation trays, old channels and cumulative valleys, with Gleysols, Histosols and Acrisols Cutánicos Eutrics soils, representing 61.9% of the area. The lands of class I and II are recommended for urban land use in periurban area of Villahermosa, but class II should be protected against rare floodings.

Palabras claves: Evaluation, land, urban use

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mucho:

- A Dios por el don de la vida, regalarme los medios y el conocimiento necesario para concluir este trabajo.
- Al Colegio de Postgraduados por abrirme las puertas y darme la oportunidad de cursar la maestría en Ciencias en el Programa de Producción Agroalimentaria en el Trópico del Campus Tabasco.
- A todos los profesores que contribuyeron con su tiempo para fortalecer mi formación académica y conocimiento durante los cursos adquiridos en la maestría.
- Al CONACYT y por el otorgamiento de la beca durante los dos años de la maestría.
- A FOMIX Tabasco por el financiamiento económico para esta tesis y la beca otorgada de enero a junio de 2012, como estudiante asociado al proyecto TAB-2007-C10-82422/03 “Geomorfología, suelo, uso del suelo y capacidad de uso rural y urbano en subcuentas y zona periurbana de Villahermosa, Tabasco”.
- Al Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano del municipio del Centro Tabasco, por otorgar información digital del Atlas de riesgos del municipio del Centro del año 2009.
- A la Secretaria de Asentamientos y Obras Públicas por el apoyo con ortofotomapas escala 1: 10 000 de INEGI del año 2010.
- Al Centro de Hidrociencias por haber facilitado imágenes de satélite SPOT del año 2010, en el marco del convenio Colegio de Postgraduados con la Secretaría de Marina, SAGARPA y ASERCA.
- A mi consejero Dr. Joel Zavala Cruz, por su amistad, consejos, paciencia y mucha dedicación durante esta etapa de mi formación.
- A mis asesores los Doctores David Jesús Palma López y Carlos Alberto Ortiz Solorio, por su apoyo guía y sugerencias durante la investigación.
- Al Dr. Luis Vargas Villamil, por el apoyo brindado, sugerencias y tiempo dedicado para el desarrollo de este trabajo.
- Al Ing. Edgar Shirma Torres, al MC. Antonio López Castañeda, al Biol. Israel Contreras y al MC. Salvador Ramírez Gómez, por su valiosa colaboración en los trabajos de gabinete y campo para la realización de este trabajo.
- A todos mis compañer@s por compartir juntos esta etapa de nuestras vidas.

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis:

- A mi esposa, compañera y amiga, por su comprensión y apoyo en cada momento que lo necesité. Te amo Diana.
- A mis pequeños hijos Christopher y Osvaldo por impulsarme a ser mejor padre y persona cada día de mi vida.

INDICE	Pág.
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2. HIPÓTESIS	3
1.3. MARCO TEÓRICO	4
1.3.1. Evaluación de tierras	4
1.3.2. Uso del suelo urbano	4
1.3.3. El recurso suelo	5
1.3.4. Degradación tierras.....	6
1.3.5. Evaluación de tierras por capacidad de uso del suelo urbano.....	6
1.3.6. Los sistemas de información geográfica en la planeación urbana	7
1.4. BIBLIOGRAFÍA.....	8
CAPÍTULO II. MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN PLANICIES DEL SURESTE DE MÉXICO	10
2.1. INTRODUCCIÓN.....	13
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
2.3.1. Factores y variables ambientales que determinan la capacidad de uso del suelo urbano.....	14
2.3.2. Selección de factores y variables ambientales para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano	20
2.3.3. Modelo matemático para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano	22
2.3.4. Simulador web para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano	23
2.3.5. Ejemplos de aplicación del modelo en la evaluación de capacidad de uso del suelo urbano en una planicie del Sureste de México	24
2.4. CONCLUSIONES.....	26
2.5. RECOMENDACIONES	26
2.6. BIBLIOGRAFÍA.....	27
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA TABASCO	31
EVALUATION OF THE CAPACITY OF URBAN LAND USE IN THE PERIURBAN AREA OF VILLAHERMOSA, TABASCO	33

3.1. INTRODUCCIÓN.....	33
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.2.1. Área de estudio	35
3.2.2. Búsqueda de información	36
3.2.3. Cartografía de relieves	36
3.2.4. Cartografía de suelos	37
3.2.5. Cartografía de inundaciones	37
3.2.6. Cartografía de tipo de pendientes	38
3.2.7. Cartografía de uso del suelo.....	38
3.2.8. Cartografía de capacidad de uso del suelo urbano	38
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.3.1 Relieve.....	38
3.3.2. Pendiente	41
3.3.3. Inundación	42
3.3.4. Suelo.....	42
3.3.5. Uso del suelo	46
3.3.6. Clases de capacidad de uso del suelo urbano	47
3.4. CONCLUSIONES.....	50
3.5. RECOMENDACIONES	51
3.6. BIBLIOGRAFÍA.....	51
CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.....	56
4.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	57
4.2. RECOMENDACIONES	57
CAPITULO. V. ANEXOS	59
ANEXO 1. MODELO UTILIZADO EN EL MODULO RATER CALCULATOR DE GRASS, PARA GENERAR EL MAPA DE ICUSU.....	60
ANEXO 2. SUPERFICIES DE LOS FACTORES AMBIENTALES DE LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA, TABASCO.....	60
ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA.	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Clasificación de las inundaciones en términos de frecuencia y duración.	15
Cuadro 2.2. Clases de pendiente, relieve del terreno y riesgos para el uso del suelo urbano. 16	
Cuadro 2.3. Criterios para interpretar la proximidad de la vegetación actual al clímax (Zavala et al., 2009).....	20
Cuadro 2.5. Clases de capacidad para uso del suelo urbano.....	22
Cuadro 2.6. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas sin restricción en terrazas.	24
Cuadro 2.7. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas con severas limitaciones en planicies aluviales.	25
Cuadro 2.8. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas no aptas en planicies de inundación.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Esquema de modelo para evaluar clases de capacidad de uso urbano.....	23
Figura 2.2. Interface publicada en la web para determinar la capacidad de uso del suelo urbano.	23
Figura 3.1. Localización geográfica de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.....	36
Figura 3.2. Tipos de relieve de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.	40
Figura 3.3. Mapa de pendientes (%) de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.	41
Figura 3.4. Frecuencia de inundaciones del área periurbana de Villahermosa, Tabasco	43
Figura 3.5. Unidades de suelos del área periurbana de Villahermosa Tabasco.....	44
Figura 3. 6. Uso de suelo en la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.....	46

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El mal uso que se hace de los recursos naturales está causando cambios sin precedentes en los paisajes, los ecosistemas y el medio ambiente. Las áreas urbanas y su infraestructura son los consumidores de suelo con un crecimiento más rápido, generalmente a expensas de la tierra de producción agrícola (PNUMA, 2002). Este problema se presenta en gran medida por el desconocimiento que existe sobre los recursos naturales. Los servicios que provee el suelo son poco valorados en las zonas urbanas; básicamente se concibe al suelo como soporte de construcciones o infraestructura, lo que favorece las prácticas para su aislamiento o “sellamiento” dando origen a problemas de encharcamientos, inundaciones, pérdida de biodiversidad y déficit en la recarga de acuíferos, entre otros. Estos problemas demandan altas inversiones para ser resueltos y, en muchas ocasiones, sólo puede realizarse provisionalmente (Cram *et al.*, 2007).

En los últimos años se han realizado diferentes trabajos con el objetivo de proponer factores a tomar en consideración en la evaluación de tierras para uso urbano. En 1989, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) publicó una guía de interpretación de suelos y su uso para la vivienda, vialidad, jardines, basureros municipales y lagunas de oxidación. Hicks y Hird (1980), con base en el antiguo servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, propusieron una clasificación para uso urbano tomando como criterio principal el relieve y la pendiente del terreno, así como propiedades del suelo como son: profundidad de la roca, expansividad, permeabilidad, erosividad, salinidad y pH. Porta *et al.* (2003) proponen la profundidad efectiva, capacidad de retención de agua, características físicas (textura, estructura, clases de drenaje y permeabilidad), características químicas (pH, contenido de carbonato, cálcico equivalente, contenido en yeso, salinidad/sodicidad), características nutricionales (materia orgánica, elementos asimilables), características biológicas y microbiológicas como parámetros edáficos a considerar en la evaluación de uso urbano de los suelos. Así mismo, Scornik *et al.* (2005), en su trabajo criterios básicos para la ordenación de espacios urbanos vulnerables del área metropolitana del Gran Resistencia en Argentina, proponen el análisis de todos los condicionantes del medio natural, especialmente la topografía, el clima, la hidrografía, la vegetación, las características del subsuelo y la delimitación de las zonas de inundación frecuente, zonas de inundación ocasional y zonas de inundación excepcional. En la planicie tabasqueña, Zavala *et al.* (2009) a partir de datos de

los factores suelo y uso del suelo, adecuaron una clasificación de suelos para uso urbano, y la aplicaron a diferentes cabeceras municipales.

Partiendo de que el suelo, al ser degradado en las ciudades, es uno de los primeros componentes ambientales que deja de proporcionar numerosos servicios necesarios para el mantenimiento de la calidad de vida de la población urbana, es necesario encontrar alternativas para su uso sustentable en asentamientos humanos futuros que favorezcan la armonía entre el ambiente y la sociedad.

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación de tierras para determinar la capacidad de uso urbano en el área periurbana de Villahermosa, Tabasco.

1.2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un método para evaluar la capacidad de uso del suelo urbano en planicies tropicales húmedas.
- Evaluar la capacidad de uso del suelo urbano de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, usando como base la cartografía de factores y variables ambientales.

1.2.2. HIPÓTESIS

- La evaluación de factores y variables ambientales prioritarias permite identificar zonas con capacidad de uso urbano en planicies.
- Las terrazas tienen zonas aptas para el uso urbano en la planicie donde se ubica la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

1.3. MARCO TEÓRICO

1.3.1. Evaluación de tierras

La evaluación de tierras es una forma de clasificar el terreno, la cual busca utilizar la información que sobre él se dispone y que pueda ser utilizada en la planificación estratégica, ya que predice el comportamiento, en términos de beneficios, costos, y efectos ambientales. (Rossiter 1996; Porta *et al.*, 1999).

El concepto de tierra se atribuye al área específica de la superficie terrestre; sus características se refieren a todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biósfera, verticalmente arriba y debajo de esta área, incluyendo los de la atmósfera, el suelo, la geología subyacente, la hidrología, la vegetación, la fauna y los resultados de la actividad humana pasada y presente, así como las interacciones de todos ellos. Se consideran dichos atributos y sus interacciones desde el punto de vista de la influencia que ejerzan sobre los usos actuales y futuros de la tierra por el hombre (Richters, 1995).

La evaluación de tierras se define como el proceso de valoración del comportamiento de la tierra cuando esta se usa para propósitos específicos (FAO, 1984). Uno de los objetivos de la evaluación de tierras es determinar el manejo y los medios a implementar para cada tipo alternativo de uso del suelo (Mendoza *et al.*, 2010).

1.3.2. Uso del suelo urbano

De acuerdo con Medellín-Milan (2002), el uso del suelo es un término clave de las intervenciones humanas en la naturaleza. Se puede referir a un asentamiento urbano, a zonas habitacionales e industriales, a centros de producción acuícola, a complejos turísticos, a muelles y puertos, a un campo agrícola, a potreros, áreas naturales protegidas, etc. Por tal motivo este concepto es muy discutido al aplicar criterios ambientales, sociales y económicos. Cada vez que se decide construir algo en un paisaje natural se desplaza una fracción de un ecosistema que cumplía una función o un servicio ambiental.

Al respecto Morello *et al.* (2000) indican que existen dos dimensiones físicas que se necesitan para comprender el consumo de tierras por la urbanización: una es la huella paisajística de la ciudad; la otra, su huella ecológica. La primera incluye el área propiamente urbanizada desarrolla paisajes naturales y seminaturales, el cual consume cuando cambia

irreversiblemente la cobertura del suelo y los usos tradicionales de este. La huella ecológica incluye toda la tierra productiva y los cursos o cuerpos de agua requeridos de manera permanente para producir los bienes consumidos por los habitantes de la ciudad y recibir los residuos que estos generan.

El espacio de transición entre ciudad y campo, no urbanizado o parcialmente urbanizado, suele denominarse espacio periurbano. En ella se atenúan o desaparecen varios servicios urbanos, como los de agua corriente, electricidad, desagües pluviales, pavimento y recolección de basura, entre otros (Morello *et al.*, 2000)

1.3.3. El recurso suelo

El término suelo tiene varios significados dependiendo del enfoque, uno de los más completos es la del Soil Survey Staff (2006), que lo define como un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural.

La importancia de conocer el recurso suelo se basa en que existen varios usuarios: agricultores, conservacionistas, ecólogos, ingenieros civiles, forestales, etc. Durante muchos años, los estudios de suelo se concentraban en los factores y procesos de formación de suelos y en aquellos aspectos relacionados con la agronomía, pero también destacan las funciones ecológicas y aquellas relacionadas con las actividades humanas (Porta y López-Acevedo, 2005):

Funciones ecológicas:

- Producción de biomasa; proporcionando alimentos, energía renovable, materias primas y rasgos naturales.
- Funciones de filtrado, tampón, almacenamiento y transformación: estas funciones tienen gran importancia en relación con los contaminantes, ya que es una función que hace que una sustancia añadida a un suelo pueda ser inmovilizada y no sea transferida a otro comportamiento ambiental.
- Hábitat biológico y reserva de genes: el conocimiento sobre la microbiología del suelo permite entender y cuantificar una serie de procesos que tiene lugar en el suelo; la flora y la fauna del suelo juegan un papel fundamental en el ciclo de muchos elementos y para la vida de las plantas.

Funciones relacionadas con la actividad humana:

- Medio físico: funciones de los suelos como espacio de soporte de infraestructura técnica e industrial y actividades socioeconómicas (construcciones, vías de comunicación, campos deportivos, vertidos de escombros y basura).
- Fuente de materia prima: grava, arena, yeso, agua y minerales.
- Herencia geológica y cultural: los suelos forman parte de un paisaje en el que pudo haber habido asentamientos humanos, cuyos restos arqueológicos pueden estar enterrados y quizá permanezcan escondidos, el suelo que tiene encima desempeña una función protectora, y determinadas acciones antrópicas podrían provocar su deterioro.

1.3.4. Degradación tierras

La degradación de tierras se define como un declive temporal o permanente en la capacidad de producción de la tierra. También puede definirse como la pérdida de utilidad actual o potencial, pérdida de cualidades intrínsecas y de funciones del suelo. Cuando los procesos de degradación ocurren sin que el hombre interfiera, generalmente se producen a una velocidad que está en equilibrio con la velocidad de restauración natural. Sin embargo, la degradación acelerada de la tierra se produce, comúnmente, como resultado de la intervención humana en el ambiente (Stocking y Murnaghan, 2003; Porta y López-Acevedo, 2005).

La degradación de suelos por uso urbano no es valorado y estudiado con la misma importancia que la desertificación o erosión hídrica. Pero el sellado de suelos representa un grave problema, tanto por la desaparición de tierras fértiles, como por las implicaciones medioambientales que conlleva. Este problema es muy acusado en los países desarrollados, especialmente en las grandes ciudades y aglomeraciones urbanas (García y Pérez, 2011).

1.3.5. Evaluación de tierras por capacidad de uso del suelo urbano

La evaluación por capacidad de uso permite predecir que una unidad ambiental que posea unas propiedades y unas limitaciones semejantes, y un riesgo similar de degradación, responderá de igual manera ante la implantación de una actividad dada o ante un cambio sustancial en uno o varios de los parámetros que la caracterizan, constituyendo una unidad de actuación en estudios de meso planificación. Este nivel de planificación es el que se utiliza a escala regional con el fin de intentar resolver conflictos territoriales y ambientales que surgen por la competencia que se establece entre los diferentes usos o actividades (Sánchez, 1999). Por lo tanto, la clasificación por capacidad de uso del suelo urbano, es una metodología que

sirve para determinar la aptitud de una clase de tierra para uso urbano, con base en factores restrictivos (Zavala *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2008 y Pereyra *et al.*, 2010).

La evaluación de tierras para uso urbano es un trabajo complejo, pues el crecimiento acelerado de la población ha ocasionado que la expansión de zonas residenciales e industriales sea mayor, lo que provoca que se incremente la presión sobre las áreas destinadas a la biodiversidad y a los campos agrícolas de las zonas periurbanas de las ciudades. Al respecto Porta *et al.* (2003) señalan que es necesario adoptar políticas del uso de tierras y diseñar estrategias apropiadas para el manejo de los paisajes urbanos y periurbanos para evitar conflictos sociales y ambientales dentro de estos sistemas.

1.3.6. Los sistemas de información geográfica en la planeación urbana

Un sistema de información geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (Soria *et al.*, 1998).

En los últimos años los SIG se han convertido en una herramienta valiosa para el análisis geográfico de gran difusión, debido a la multitud de disciplinas a las que pueden ser útiles. Bosque y García (2000) destacan dos formas de utilizar los SIG:

- a) Gestión y descripción del territorio: es decir se trata de contestar a preguntas del tipo: ¿dónde están las "cosas"? por ejemplo en el mantenimiento, cartografía, control y gestión de datos catastrales, en la gestión urbana y municipal; y
- b) Ordenación y planificación del territorio: en este caso se trata de responder a cuestiones del tipo: ¿dónde deben estar las "cosas"? Por ejemplo las tareas de planificación urbana, la ordenación del territorio y la planificación ambiental.

1.4. BIBLIOGRAFÍA

- Bosque, S. J. y García R. C. 2000. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 20: 49–67.
- García, M. P., Pérez, G. M. E. 2011. Sellado de Fluvisoles en la Comunidad de Madrid. Análisis a partir de imágenes landsat. *Anales de Geografía*. Vol. 31, núm. 2. 125-137.
- Cram, S., Cotler, H., Morales L. M., Sommer I., Carmona, E. 2007. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas* 66: 81-104.
- FAO. 1984. Land evaluation for forestry. Forestry Papers 48. FAO, Roma, Italia
- Hicks, R. W., Hird C. 2007. Soils and urban land use in: soils their properties and management. pp 394–405. In Charman P.E.V. y B.W. Murphy (ed.). 2007. Oxford University Press. Third edition. Hong Kong. China.
- Medellín-Milán, P. 2002. Uso del suelo. Publicado en Pulso, Diario de San Luis Sección Ideas, San Luis Potosí, México. <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf> (consultado el 30 de octubre de 2011).
- Mendoza, M., Plascencia, H., Alcántara, C., Rosete, F. y Bocco, G. 2010. Análisis de la aptitud territorial. Una perspectiva biofísica. Serie Planeación Territorial. Primera Edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. México.
- Morello, J., Buzai, G.D., Baxendale, C.A., Matteucci, S.D., Rodriguez, A.F., Godagnone, R.E. y Casas, R.R. 2000. Urbanización y consumo de tierra fértil. *Ciencia Hoy* No. 55: 50–61.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente). 2002. Síntesis GEO-3. Perspectivas del medio ambiente mundial 3. http://www.unep.org/geo/GEO3/pdfs/GEO3_Synthesis_spa.pdf. (Consultado el 3 de febrero de 2012).
- Porta, J., López-Acevedo M. y C. Roquero L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España.
- Porta, J. y López-Acevedo M. 2005. Agenda de campo de suelos. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa.

- Richters, E.J. 1995. Manejo de uso de la Tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. Instituto Interamericano para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- Rossiter, D. G. 1996. A theoretical framework for land evaluation (with Discussion). *Geoderma* 72: 165-202.
- Sánchez de M. I. 1999. Introducción al Urbanismo: conceptos y métodos de planificación urbana. Editorial alianza. Madrid, España.
- Scornik, M.B., Miguel, A.P. y Víctor, S. 2005. Criterios básicos para la ordenación de espacios urbanos vulnerables del AMGR. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas- Universidad Nacional del Noreste. Chaco, Argentina.
- Stocking, M. y Murnaghan, N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la Tierra. Mundi-Prensa, Madrid.
- Soil Survey Staf. 2006. Keys to soil taxonomy. Ninth Edition. USDA, Natural Resources Conservation Service. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C.
- Soria, R., Ortiz, S.C., Islas, G.F. y Volke, H.V. 1998. Sensores remotos. Principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. México. CONACYT. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. A.C. Colegio de Postgraduados.
- Zavala-Cruz J., O. Castillo A., A. I. Ortiz C., D. J. Palma-López, J. F. Juárez L., S. Salgado-García, J. A. Rincón-Ramírez, E. Moreno C., R. Ramos R. 2009. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco, con base en suelo, uso actual y vegetación. 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, Tabasco, México.

**CAPÍTULO II. MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO
DEL SUELO URBANO EN PLANICIES DEL SURESTE DE MÉXICO**

MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN PLANICIES DEL SURESTE DE MÉXICO

M. A. Morales-Garduza^{1*}; J. Zavala-Cruz¹; D. J. Palma-López¹; C. A. Ortiz-Solorio²; L. Vargas-Villamil¹

¹ Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Periférico Carlos A. Molina S/N. A.P 24 Cárdenas, Tabasco, México. C.P. 86500. *(morales.marcos@colpos.mx). ² Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

RESUMEN

La inadecuada planeación de las zonas urbanas asentadas en planicies del Sureste de México ha ocasionado la degradación de los recursos naturales, la pérdida de tierras con potencial agrícola y la exposición de la población a las inundaciones. Como alternativa, se desarrolló una metodología que evalúa la capacidad de uso del suelo urbano en planicies tropicales húmedas con relieves de planicies aluviales y terrazas. La metodología consistió en una revisión bibliográfica sobre las clasificaciones de la capacidad de uso del suelo urbano, así como la selección de factores y variables ambientales representativas de las características de las planicies del Sureste de México. La información obtenida, así como información cartográfica local, fueron utilizadas para el diseño de un modelo matemático sobre capacidad de uso de suelo. El modelo matemático se publicó en la plataforma Forio Simulate para generar un simulador Web. Los factores considerados en la evaluación fueron: inundación, relieve, pendiente del terreno, suelo y uso del suelo. El simulador tiene la capacidad de evaluar en línea y en tiempo real cinco clases de restricción de uso del suelo urbano: sin restricción (clase I), ligera restricción (clase II), moderada restricción (clase III), severa restricción (clase IV) y no recomendable para urbanizar (clase V). El simulador está disponible en la siguiente dirección: http://forio.com/simulate/socram_19_82/usuwp.

Palabras claves: evaluación, capacidad de uso, uso del suelo urbano, simulador.

MODEL FOR THE EVALUATION OF THE CAPACITY OF URBAN LAND USE IN PLAINS OF SOUTHERN MEXICO

M. A. Morales-Garduza^{1*}; J. Zavala-Cruz¹; D. J. Palma-López¹; C. A. Ortiz-Solorio²; L. Vargas-Villamil¹

¹ Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Periférico Carlos A. Molina S/N. A.P 24 Cárdenas, Tabasco, México. C.P. 86500. *(morales.marcos@colpos.mx). ² Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

ABSTRACT

Inadequate planning of urban areas settled in plains of southern Mexico has caused the degradation of natural resources, loss of land with agricultural potential and population exposure to flooding. Therefore, we developed a methodology that evaluates the ability of urban land use in humid tropical plains with reliefs of floodplains and terraces. The methodology involved a literature review on the ratings of the ability of urban land use and the selection of factors and environmental variables representing the characteristics of the plains of southeastern Mexico. The information obtained, as well as local topographic data were used to design a mathematical model of land use capacity. The mathematical model was published in Forio platform to generate a simulator Simulate Web. Factors considered in the evaluation were: flooding, relief, slope, soil and land use. The simulator has the ability to evaluate online and in real time constraint of five classes of urban land use: unrestricted (Class I), slight restriction (class II), moderate restriction (Class III), severe restriction (class IV) and not recommended for urbanization (class V). The simulator is available at the following address: http://forio.com/simulate/socram_1982/usuvp

Keywords: evaluation, usability, urban land use simulator

2.1. INTRODUCCIÓN

Uso del suelo es un término que se fija por las actividades que realiza el ser humano sobre los recursos naturales. Se puede referir a asentamientos urbanos, centros de producción acuícola, complejos turísticos, muelles y puertos, campos agrícolas, potreros y áreas naturales protegidas, este término es muy discutido al aplicar criterios ambientales, sociales y económicos, pues cada vez que se desea construir algo en un paisaje natural se desplazan ecosistemas que cumplían una función (Medellin-Milan, 2002).

La mala planeación de la expansión urbana en planicies aluviales ha generado la degradación de suelos con alto valor ambiental y agrícola; el impacto de la urbanización es grave al ser un proceso de degradación irreversible (Falcón, 2002).

En este contexto, el recurso suelo es poco valorado en cuanto a los servicios que provee a las zonas urbanas; básicamente se concibe como soporte de construcciones o infraestructura, lo que favorece las prácticas para su aislamiento o “sellamiento” dando origen a problemas de encharcamientos, inundaciones, pérdida de biodiversidad y déficit en la recarga de acuíferos, entre otros, estos problemas demandan altas inversiones para ser resueltos (Cram *et al.*, 2007). Para coadyuvar a la prevención de esta problemática, se han realizado investigaciones con el objetivo de proponer factores ambientales a considerar en la evaluación de las tierras aptas para el uso del suelo urbano, que contribuyan a planificar el crecimiento de las ciudades, destacando las de Hicks y Hird (2007), Scornik *et al.* (2005), Yang *et al.* (2008) y Pereyra *et al.* (2010). Estos trabajos concuerdan en que la planeación urbana se debe realizar partiendo de una evaluación de factores como inundación, relieve, uso del suelo, pendiente y características del suelo. En México, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (1989), publicó una guía de interpretación de suelos y recomienda diferentes clases de capacidad de uso para la vivienda, vialidad, jardines, basureros municipales y lagunas de oxidación. Zavala *et al.* (2009) proponen criterios para evaluar la capacidad de uso del suelo urbano para ciudad de Tabasco, con base en variables de los factores suelo y uso del suelo.

Actualmente no existe una clasificación específica de evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano adecuada a las condiciones ambientales de las planicies del trópico húmedo de México. Por lo que es necesario desarrollar metodologías de evaluación que tomen en cuenta los factores y variables ambientales representativas de la región y coadyuven a la planeación urbana de las ciudades.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como primera etapa se realizó revisión de literatura enfocada a la selección de factores y variables que inciden en el uso urbano de planicies de inundación y terrazas. Esta información se utilizó para generar una clasificación de capacidad de uso. Posteriormente se diseñó un modelo matemático con el software Estela IV (Hulbert *et al.*, 2000) en el cual se le asignaron valores a los factores y variables propuestos en la clasificación. El algoritmo obtenido se convirtió al programa Web Forio Simulate (Forio, 2011) sobre el cual se desarrolló un simulador para la evaluación en línea. Finalmente, se presentan tres casos de aplicación del modelo de la evaluación de capacidad de uso del suelo urbano en ambientes contrastantes, con base en la información disponible para la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Factores y variables ambientales que determinan la capacidad de uso del suelo urbano

Entre los factores que se tomaron en cuenta, después de la revisión de la literatura, para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano de las ciudades destacan: inundación, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo. A continuación se explican los factores, variables y efectos en el uso urbano de las planicies y los autores que los han utilizado.

Inundación

Las inundaciones son eventos naturales y recurrentes que se producen en las planicies aluviales o en las áreas planas y más bajas del terreno, como resultado de lluvias intensas o continuas, que al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan las llanuras, o en general, aquellos terrenos bajos o aledaños a los cursos de agua (OEA, 1993). El IMTA (1989) sugiere que se puede obtener información sobre la ocurrencia, frecuencia y duración de las inundaciones por medio de investigación directa con personas afectadas; por medio de la fotointerpretación y mediante la observación directa de rasgos en el paisaje y en suelos que son evidencia de la inundación como meandros de ríos, bordos naturales, basura depositada por el agua y sedimentos recientes. También, con base en información de estudios de suelos, hidrológicos, geomorfológicos, topográficos y fisiográficos. En el Cuadro 2.1, se expresan las inundaciones en términos de frecuencia y duración propuestos por Soil Survey Staff (1993).

Cuadro 2.1. Clasificación de las inundaciones en términos de frecuencia y duración.

Frecuencia	Criterio
Ninguna	No existe posibilidad de que ocurra
Rara	De 1 a 5 veces cada 100 años
Ocasional	De 5 a 50 veces cada 100 años
Frecuente	> de 50 veces cada 100 años
Duración	Criterio
Muy breve	De 4 a 48 horas
Breve	De 2 a 7 días
Larga	De 7 días a 1 mes
Muy larga	> de 1 mes

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

Una inundación de 100 años se refiere a un evento o área expuesta a un 1% de probabilidad que ocurra la inundación de un determinado volumen en cualquier año (OEA, 1993). Al respecto, en el programa de desarrollo urbano de la zona metropolitana de la ciudad de Villahermosa (SAOP-SEDESOL-UNAM, 2011), se plantean tres niveles de susceptibilidad de inundación: a) bajo, probabilidad de ocurrencia menor al 10%; b) medio, probabilidad de ocurrencia del 10% al 65%, y c) alto, probabilidad de ocurrencia mayor al 65%.

Relieve y pendiente del terreno

El relieve y la pendiente del terreno son factores que no pueden faltar en la evaluación de zonas para uso urbano (Steiner *et al.*, 2000; Svoray *et al.*, 2005; Hicks y Hird, 2007; Yang *et al.*, 2008), ya que de estos dependen otros factores. En el Cuadro 2.2 se presentan las clases de pendiente relacionadas con el relieve y los riesgos para el uso urbano. Se observa que los valores de 5 a 25% no representan problemas para el uso comercial, residencial, viviendas unifamiliares o espacios recreativos. Estas pendientes se encuentran en relieves de colinas, pie de monte y laderas suaves. Las planicies de inundación con pendientes menores a 5% no son aptas para el uso urbano, igual que laderas escarpadas con pendientes mayores al 30%.

En el Sureste de México, concretamente el estado de Tabasco, sur de Veracruz, norte de Chiapas y suroeste de Campeche, las zonas urbanas se ubican en la región fisiográfica Planicie Costera del Golfo (Lugo y Córdova, 1999). Destacan dos relieves mayores: planicies aluviales y terrazas (Ortiz *et al.*, 2005). Las planicies aluviales están formadas por sedimentos aluviales profundos de edad del Cuaternario Holoceno, que fueron acumulados por los caudalosos ríos durante las inundaciones (West *et al.*, 1985; SGM, 2007), sobresaliendo el Usumacinta, Grijalva, Coatzacoalcos y Papaloapan.

Cuadro 2.2. Clases de pendiente, relieve del terreno y riesgos para el uso del suelo urbano.

Pendiente (%)	Relieve	Riesgo potencial	Recomendación de uso urbano de la tierra
0-5	Planicie de inundación	Inundaciones, manto freático elevado temporalmente, suelos orgánicos hidromórficos, manto freático elevado	Reserva de drenaje/ deposición de aguas pluviales, área de espacios recreativos
	Planicie aluvial	temporalmente, arcillas de alta contracción, salinidad	
	Cresta	Suelos poco profundos, pedregosos, drenaje superficial y drenaje en el perfil.	Residencial, todo tipo de recreación, uso industrial, desarrollo comercial e institucional
	Ladera	Suelos profundos, suelos que se hinchan, suelos erosionables.	
5-10	Pendiente inclinada		Subdivisiones residenciales, viviendas unifamiliares, vivienda de densidad media/complejos de unidad habitacional, actividades industriales
	Cresta de colinas	Suelos poco profundos, flujo superficial.	
	Ladera	Drenaje deficiente, otros suelos que se hinchan, suelos erosionables.	
10-20%	Ladera	Suelos poco profundos, flujo superficial, drenaje deficiente. Otros suelos que se hinchan, suelos erosionables	Residenciales, viviendas unifamiliares, vivienda de densidad media/complejos de unidad habitacional, industriales, espacios recreativos
20-25	Ladera	Limitaciones geológicas, posibilidad de movimiento de masas, alto riesgo de erosión	Residenciales, espacios de recreación
25-30	Ladera	Limitaciones geológicas, posibilidad de movimiento de masas, alto riesgo de erosión	Uso residencial selectivo, baja densidad de vivienda, espacios recreativos
Mayor de 30	Ladera	Limitaciones geológicas, movimiento de masas, riesgo de erosión severa	No se recomienda para uso urbano

Fuente: Hicks y Hird (2007)

En las planicies aluviales, los sedimentos presentan una clasificación granulométrica en función, por un lado, de la distancia al lecho fluvial, y por el otro, de la longitud del río hasta su desembocadura en el mar, de manera que junto al cauce se presentan texturas más gruesas, mientras que en las partes bajas y conforme se acerca a la desembocadura, las texturas van siendo más finas. En sentido perpendicular a los ríos, se desarrollan relieves como diques

naturales, llanura de inundación, cubeta de decantación, cauces inactivos y planicies palustres y lacustres (Moreno-Osorio, 1992; Ortiz *et al.*, 2005).

Las terrazas, con alturas de 10 a 100 sobre el nivel del mar (msnm), sobresalen de las planicies aluviales y corresponden a antiguas planicies aluviales que fueron erosionadas por los ríos; tienen relieves menores, en general bien drenados, como lomeríos convexos y cóncavos, laderas suaves, cimas o parteaguas y valles erosivos y acumulativos (West *et al.*, 1985; Ortiz *et al.*, 2005; Zavala *et al.*, 2011).

Suelo

El suelo es un recurso natural no renovable que actúa como un sistema multifuncional: produce biomasa; protege a organismos y microorganismos que viven exclusivamente en su interior; es soporte físico de las actividades antropogénicas; es fuente de materias primas; participa en el ciclo bioquímico, geoquímico e hidrológico; filtra, neutraliza y transforma sustancias contaminantes, etc. (Karlen *et al.*, 1997; Blum, 2002). La importancia de conocer el recurso suelo se basa en que existen varios usuarios: agricultores, conservacionistas, ecólogos, ingenieros civiles y forestales, entre otros. Al respecto Lambin *et al.*, (2001) consideran que es un elemento imprescindible sobre el cual la sociedad crece; se convierte así en el soporte para la integración y estructuración de los asentamientos humanos. Una utilización acertada del mismo es fundamental para conseguir un desarrollo sostenible, sobre todo si se considera que todas las actividades antrópicas que fomentan la ocupación del espacio, particularmente en las áreas más dinámicas, pueden ocasionar la degradación del medio edáfico y, finalmente, provocar la eliminación definitiva del recurso (Añó *et al.*, 2005).

Un desarrollo urbano planificado requiere información de propiedades del suelo tales como: profundidad de la roca, potencial de expansión-retención, drenaje o permeabilidad, contenido de materia orgánica (MO), erosividad, salinidad, pH, acidez, conductividad hidráulica, características nutricionales y susceptibilidad a la erosión (Porta y López-Acevedo, 2005; Hicks y Hird, 2007). En seguida se analizan las variables significativas del factor suelo para la evaluación del uso del suelo urbano.

Profundidad del lecho rocoso. Porta *et al.* (2003), mencionan que es difícil establecer un límite inferior de un suelo, en la práctica se suele tomar como límite inferior a 1.5 o 2 m, la cual incluye a la zona de actividad biológica más intensa. La profundidad de un suelo puede estar limitada por roca o material parental. Así mismo, la escasa profundidad del suelo por

afloramiento de la roca madre dura, puede dificultar la construcción de viviendas y la introducción de servicios como drenaje, agua potable, alcantarillado, en el corte y relleno de caminos y cimiento para edificios (Hicks y Hird, 2007). Generalmente los suelos con escasa profundidad se asocian al grupo denominado Leptosoles; son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos (FAO, 2000; IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Estos suelos son recomendados para la conservación de la vida silvestre, sobre todo en zonas con pendientes mayores al 40% y con poca accesibilidad (IMTA, 1989).

Contenido de materia orgánica (MO). Los suelos con mayor contenido de MO presentan un horizonte hístico y se relacionan con los humedales; entendiéndose como humedales aquellas zonas húmedas o cubiertas por agua dulce o salina, de manera continua (Lugo, 2011). Estos sistemas en zonas urbanas adquieren gran importancia debido a que las funciones y mecanismos naturales brindan servicios ambientales que reportan beneficios directos e indirectos a la humanidad, entre los que se encuentran la purificación de aire, regulación microclimática, captadores de aguas de lluvias, tratamiento de aguas residuales y oferta de espacios para la recreación (Bolund y Hunhammar, 1999). Así mismo, los suelos con alto contenido de MO o presencia de horizontes hísticos superficiales o enterrados, al ser sellados por la urbanización pueden compactarse y presentar hundimiento de las construcciones al paso del tiempo. Un ejemplo de este proceso se presentó en la ciudad de Nueva Orleans (Keller y Blodgett, 2004; Edeso, 2008), ubicada en una planicie deltaica.

Drenaje del suelo. El drenaje de un suelo expresa la rapidez con que se elimina el agua en relación con los aportes. La clase de drenaje es un atributo del suelo que está determinado por la estructura, textura, porosidad, existencia de una capa impermeable, permeabilidad y el relieve del suelo (Porta y López-Acevedo, 2005). El Soil Survey Staf (1993) diferencia siete clases de suelos en función del drenaje: muy pobremente drenado, pobremente drenado, algo pobremente drenado, moderadamente bien drenado, bien drenado, algo excesivamente drenado y excelentemente drenado. Generalmente el color gley (del ruso *gley*, gris) es típico de los suelos que están sujetos a inundaciones y se observa en el suelo por la presencia de moteado de color gris, gris oscuro, gris claro, gris verdoso, gris azulado o verde grisáceo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). El drenaje del suelo se asocia directamente a la inundación o anegamiento, de tal modo que los suelos muy pobres y pobremente drenados no deben urbanizarse, sin embargo, pueden utilizarse para espacios recreativos como parques y áreas de reserva de drenaje (Hicks y Hird, 2007)

Contracción y dilatación. La propiedad de dilatarse y contraerse comúnmente ocurre en suelos arcillosos que contienen predominantemente minerales arcillosos, tales como los del grupo de la esméctica. Estos suelos son sometidos a considerables movimientos durante la dilatación y la contracción a causa de los pronunciados cambios de volumen con variaciones en el contenido de agua. Los suelos se contraen y se resquebrajan cuando están secos y se expanden, volviéndose plásticos y adhesivos cuando están húmedos. El movimiento del suelo puede causar la formación de un micro relieve típico (“gilgai”) en la superficie, pequeñas ondulaciones y agregados en forma de cuña en el subsuelo (FAO, 2000).

En laboratorio se puede medir este potencial y calcular el coeficiente de extensión lineal (COEL), sin embargo el IMTA (1989), correlaciona el contenido y tipo de arcilla con el COEL, de tal modo que los suelos con bajo contenido de arcilla y tipo caolinítico tienen un COEL bajo. Por el contrario, suelos con alto contenido de arcilla montmorillonítica tienen un COEL alto. La contracción y dilatación de suelo se asocian al grupo denominado Vertisol (Palma-López *et al.*, 2007), el cual se caracteriza por tener más del 30% de arcilla en todo el perfil, además desarrolla grietas verticales anchas y profundas que aparecen en alguna época del año, generalmente son suelos de colores grises (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Estos suelos son inestables y por su acción de expansión y contracción en zonas urbanas provocan grietas en las calles, casas habitación, daños en las redes eléctricas y drenajes (Rodríguez, 2002; Hicks y Hird, 2007; Tsige, 2008). El efecto de la sobrecarga y la posibilidad de un sismo puede aumentar el potencial de inestabilidad del sistema, por ello es necesario estudiar y detectar las zonas de inestabilidad cuando se realice una obra civil (Rodríguez, 2002; Edeso, 2008).

Fertilidad del suelo. De acuerdo con la NOM-021RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), la fertilidad de un suelo es la cualidad que permite proporcionar los compuestos apropiados, en las cantidades debidas y en el balance adecuado para el crecimiento de plantas específicas cuando otros factores, tales como la luz, temperatura y condiciones físicas del suelo, son favorables. Los suelos más fértiles representan la base para desarrollar la agricultura para la producción de alimentos. El conflicto por la tierra entre ciudad y campo es especialmente dramático, pues la expansión urbana avanza sobre los suelos con mejor capacidad agrícola, en muchos casos llanuras aluviales donde se forman los suelos Fluvents o Fluvisoles (Morello *et al.*, 2000; Porta y López-Acevedo, 2005). Un indicador de suelo fértil se puede determinar conociendo la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (IMTA, 1989; Porta *et al.*, 2003).

Uso del suelo y vegetación

Los problemas del medio ambiente ocasionados por el cambio de la cubierta vegetal natural y agrícola a usos urbanos tienen importantes repercusiones para el funcionamiento de los ecosistemas a escala mundial. La gravedad de esas repercusiones depende de dónde y cómo se ampliarán los asentamientos urbanos (Fondo de Población de las Naciones Unidas, 2007). El artículo 145 de la ley de General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF, 1988), menciona que en la determinación de los usos del suelo deben especificarse las zonas donde se permita el establecimiento de actividades riesgosas para el medio ambiente, mientras que el artículo 148 de la misma ley establece que en dichas zonas podría prohibirse los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población. Al respecto, Cadiñanos y Meaza (1998) proponen valorar la vegetación con base en la proximidad al clímax; y Zavala *et al.* (2009), retoman este trabajo y proponen una clasificación para uso urbano con base en el uso de suelo y la vegetación (Cuadro 2.3), de tal modo que la vegetación mas conservada o clímax, como las selvas, tiene el valor de restricción más alto (clase 5), y la vegetación más deteriorada como los pastizales y los suelos sin cubierta vegetal son los menos restrictivos para el uso urbano (clase 1).

Cuadro 2.3. Criterios para interpretar la proximidad de la vegetación actual al clímax (Zavala *et al.*, 2009).

Clase	Proximidad a la vegetación clímax	Características
1	Vegetación ausente o transformada	Monocultivos anuales y pastizales cultivados
2	Vegetación transformada con algunas especies nativas	Herbazales y matorrales en su primera etapa
3	Vegetación secundaria arbórea joven y mediana	Vegetación secundaria arbórea joven en etapa intermedia
4	Vegetación secundaria arbórea madura mezclada con vegetación clímax	Cultivos perennes y asociación de vegetación secundaria media y madura
5	Vegetación clímax	Selvas, matorrales y herbazales perennifolios en estado de clímax climático o edáfico

2.3.2. Selección de factores y variables ambientales para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano

Con base en la revisión de literatura, en el Cuadro 2.4 se proponen los factores, variables y clases de capacidad de uso del suelo urbano para evaluar tierras de las planicies del Sureste de México.

Cuadro 2.4. Selección de factores y variables para la evaluación de clases de capacidad de uso del suelo urbano en planicies del Sureste de México.

Factor	Variable	Clases de capacidad de uso del suelo urbano				
		I	II	III	IV	V
Inundación ¹	% Probabilidad que ocurra en 100 años	Ninguna	Rara	Ocasional	Frecuente	Permanente
		0	1-5	5-50	50-100	> de 3 meses al año
Relieve ²	Llanura aluvial	Na*	Na*	Dique natural	Dique natural de transición, llanura aluvial baja Lomerío	Cubeta de decantación, cauce inactivo
	Terraza	Loma ligera y moderadamente ondulada, cima de loma	Lomerío bajo plano a convexo	Transición terraza-planicie aluvial	plano a cóncavo, valle erosivo, ladera inclinada	Ladera escarpada, valle acumulativo
Pendiente ^{1,2} (%)	Llanura aluvial	Na*	Na*	1-3	1- 2	<1
	Terraza	1-10	10-20	20-30	>30	>30
Suelo ^{2,3}	Profundidad (cm)	>150	100-150	50-100	25-50	<25
	Drenaje	Excesivamente drenado, bien drenado		Imperfectamente drenado	Pobremamente drenado	Muy pobremamente drenado
	Nivel del manto freático (cm)	>150	100-150	50-100	25-50	0-25
	Materia orgánica (%)	<5	5-10	10-15	15-20	>20
	Arcilla expandible 0-75 cm (%)	<30	30-40	40-50	50-60	>60
	Fertilidad CIC (cmol(+)kg ⁻¹)	<15	15-25	25-30	30-40	>40
Uso del suelo ⁴	Proximidad de la vegetación al clímax	Suelos desnudos, pastizales, cultivos anuales	Matorrales	Vegetación secundaria arbórea joven, plantaciones forestales	Vegetación secundaria arbórea madura, cultivos perennes	Vegetación clímax: hidrófita, selvas, riparia, bosques

Fuente: IMTA (1989)¹; Hicks y Hird (2007) y Zavala *et al.* (2011)²; Porta y López-Acevedo (2005)³; Zavala *et al.* (2009) adaptado de Cadiñanos y Meaza (1988)⁴ *No aplica.

En el Cuadro 2.5 se muestran las clases de capacidad de uso del suelo urbano, seleccionadas con base en trabajos del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Hicks y Hird, 2007). Las restricciones varían de la clase I a la V (Hicks y Hird, 2007), de tal modo que la clase I serán las áreas que no tienen restricciones, en la clase II las limitaciones pueden influir en el diseño e imponer ciertos requerimientos para asegurar que la superficie de la

tierra se mantenga estable antes y después del asentamiento, en la clase III existen moderadas limitaciones y por lo tanto requiere perturbar el medio físico para hacerlo urbanizable. La clase IV presenta severas limitaciones ya que se requiere de investigación detallada y el uso de ingeniería y diseño urbano para su uso. La clase V son terrenos con severas limitaciones muy difíciles de superar por lo que no es conveniente su uso urbano.

Cuadro 2.5. Clases de capacidad para uso del suelo urbano.

Clases	Definición
I	Áreas con pocas o nulas limitaciones
II	Áreas con ligeras a moderadas limitaciones
III	Áreas con moderadas limitaciones
IV	Áreas con severas limitaciones
V	Áreas no recomendadas para el uso urbano

Fuente: adaptado de Hicks y Hird, 2007.

2.3.3. Modelo matemático para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano

El modelo matemático está conformado por el índice de capacidad de uso de suelo urbano (ICUSU), descrito por la siguiente ecuación:

$ICUSU = Inundación + Pendiente + Relieve + Suelo + Uso\ de\ suelo.$

Cada factor está ponderado (p) con el 20%, este valor se divide entre las clases de capacidad de uso (F) de la siguiente forma: I= 100%, 2= 75%, 3= 50%, 4= 25% y 5= 0%. La suma de los porcentajes de los factores determina el ICUSU de un terreno X (V). En la Figura 2.1 se observa esquemáticamente la integración del modelo.

De esta forma los factores que califican tienen los siguientes valores: sin restricción 0.20, ligera restricción 0.15, moderada restricción 0.10, severa restricción 0.05 y no recomendable 0.0. Para el factor suelo, el 20% del valor total se dividió entre las seis variables (profundidad, drenaje, nivel del manto freático, MO, arcilla expandible y CIC) consideradas para obtener el ICUSU; así se tienen los siguientes valores: clase I 3.33, clase II 2.49, clase III 1.66, clase IV 0.83 y no urbano 0.0.

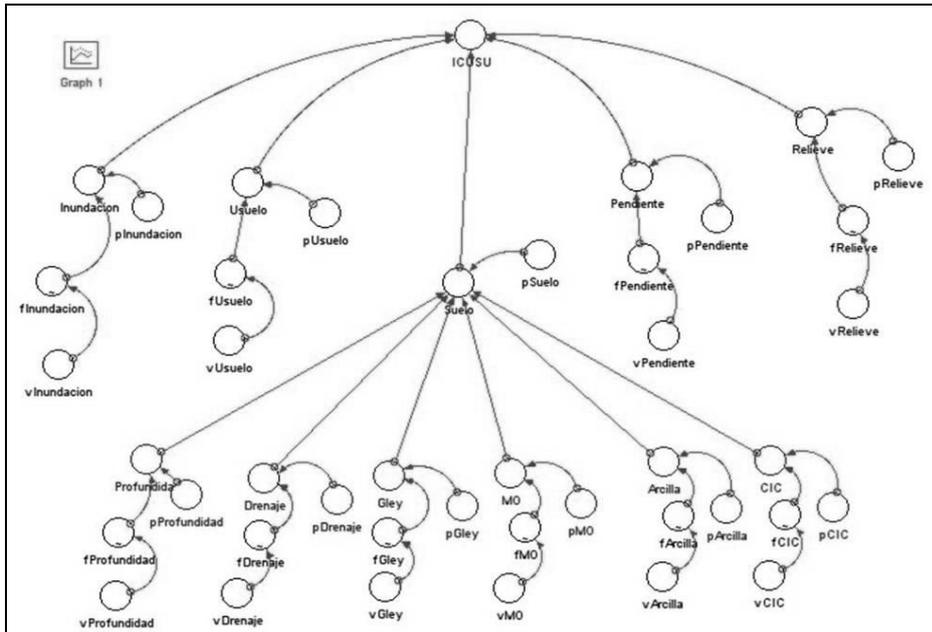


Figura 2.1. Esquema de modelo para evaluar clases de capacidad de uso urbano.

2.3.4. Simulador web para la evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano

El algoritmo del modelo matemático obtenido se convirtió al programa Web Forio Simulate (Forio, 2011), en el cual se diseñó una interface para un simulador web (Figura 2.2). De esta forma el usuario puede elegir una característica de terreno y seleccionar una opción, cuando termine de seleccionar todos los factores compara el resultado con la tabla de clases de capacidad de uso urbano (Cuadro 2.5) y determinar si el terreno seleccionado tiene un ICUSU adecuado o con limitaciones para el uso del suelo urbano. Esta información ayudará a la toma de decisión del usuario.

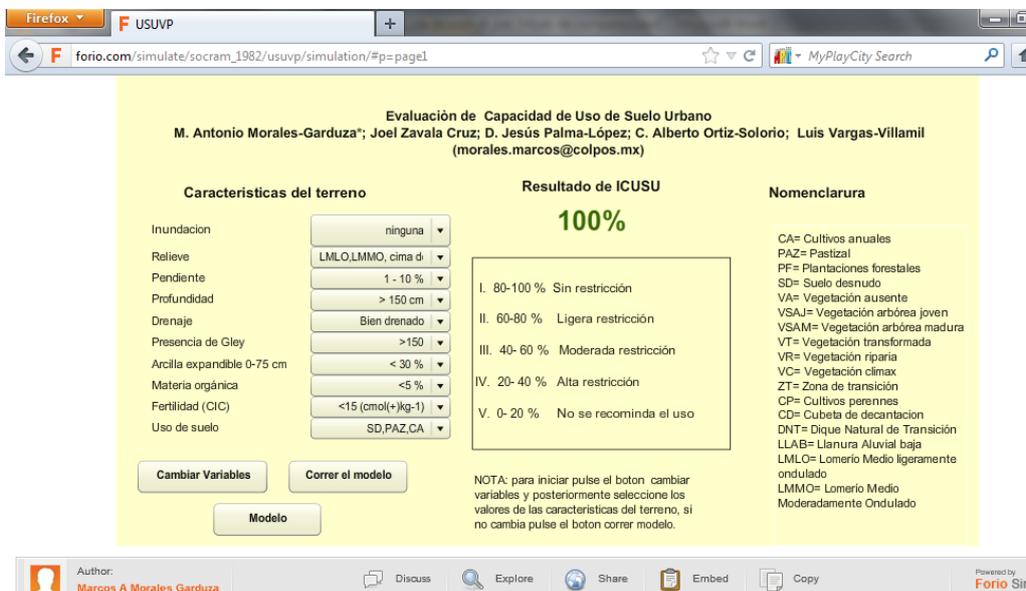


Figura 2.2. Interface publicada en la web para determinar la capacidad de uso del suelo urbano.

El usuario puede explorar el modelo dando click en la opción modelo, de esta forma se puede comprender a profundidad la integración de las variables, ya que cada factor dentro de la interface se explica brevemente el significado, se proporciona la ecuación que lo compone y su función dentro del modelo.

2.3.5. Ejemplos de aplicación del modelo en la evaluación de capacidad de uso del suelo urbano en una planicie del Sureste de México

Se presentan tres casos de evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en condiciones ambientales diferentes, utilizando los criterios establecidos en el simulador web, con base en información existente de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco (INEGI, 2001; Palma-López *et al.*, 2007; Zavala *et al.*, 2009; Zavala *et al.*, 2011).

Clase I sin restricción para uso del suelo urbano en terrazas

Zona libre de inundación, relieve de terrazas moderadamente onduladas con pendientes de ligera a moderada inclinación, suelos bien drenados, el gley indica que el manto freático es profundo, bajo contenido de materia orgánica, problemas de expansión y contracción de arcillas, baja CIC y uso de suelo con pastizales (Cuadro 2.6). Se ubica al este y sur de Villahermosa.

Cuadro 2.6. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas sin restricción en terrazas.

Factor limitante	Característica del terreno	Valor
Inundación	Ninguna	20.0
Relieve	Lomerío medio ondulado	20.0
Pendiente%	3 -15	20.0
Profundidad cm	> 150	3.33
Drenaje	Bien drenado	3.33
Presencia de gley cm	> 150	3.33
% arcilla expandible	< de 30	3.33
% de MO	< de 5	3.33
CIC cmol(+) kg^{-1}	< 15	3.33
Uso del suelo	Pastizales	20.0
Clase I.	Sin restricción	99%

Clase IV con severas limitaciones para el uso del suelo urbano en planicies aluviales

Zona que presenta inundaciones frecuentes, con relieve de planicies aluviales bajas, pendiente casi plana, suelos profundos, drenaje imperfecto, con gley indicando que el manto freático

sube hasta el horizonte A en la época de lluvias; además, tiene alto contenido de MO, alto contenido de arcillas, buen contenido de CIC y uso de matorrales asociados a vegetación secundaria joven (Cuadro 2.7). Se ubica en extensas planicies aluviales formadas por los ríos Grijalva, Carrizal, Samaria y Viejo Mezcalapa, alrededor de Villahermosa.

Cuadro 2.7. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas con severas limitaciones en planicies aluviales.

Factor limitante	Característica del terreno	Valor
Inundación	Frecuente	5.0
Relieve	Llanura aluvial baja	5.0
Pendiente%	< 1	0.00
Profundidad cm	> 150	3.33
Drenaje	Pobre	0.83
Presencia de gley cm	0-25	0.00
% de arcilla expandible	30-40	2.49
% de MO	5-10	2.49
CIC cmol kg ⁻¹	15-25	1.66
Uso del suelo	Matorral espinoso	0.15
Clase IV	Modera restricción	35%

Clase V no recomendable para uso urbano en planicies de inundación

Agrupar zonas que se inundan todos los años, sobre relieves de cubetas de decantación, cauces inactivos o valles acumulativos, con pendiente menor a 1%, suelo muy pobremente drenado, orgánico, alto contenido de arcilla expandible, alta CIC y presencia de vegetación hidrófila (Cuadro 2.8). Se ubica en las zonas topográficamente más bajas y cóncavas de las planicies aluviales, alrededor de Villahermosa.

Cuadro 2.8. Evaluación de la capacidad de uso del suelo urbano en zonas no aptas en planicies de inundación.

Factor limitante	Característica del terreno	Valor
Inundación	Muy frecuente	0.0
Relieve	Llanura de inundación	0.0
Pendiente%	<1	0.0
Profundidad cm	>150	3.33
Drenaje	Muy pobre	0.0
Presencia de gley cm	0-25	0.0
% de arcilla expandible	40-50	1.66
% de MO	> 20	0.0
CIC cmol kg ⁻¹	25-30	1.66
Uso del suelo	Vegetación hidrófila	0.0
Clase V	Muy alta restricción	6.2%

2.4. CONCLUSIONES

Con base en la revisión de literatura los factores relevantes para evaluar la capacidad de uso del suelo urbano en planicies tropicales húmedas del Sureste de México son: inundación, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo.

Considerando estos factores y sus variables, se generó un modelo matemático que permite evaluar en línea a través de un simulador web la capacidad de uso del suelo urbano, para el cual se diseñaron 5 clases de restricción: clase I sin restricción, Clase II ligera restricción, Clase III moderada restricción, clase IV severa restricción y Clase 5 no recomendable urbanizar. El simulador está disponible en: http://forio.com/simulate/socram_1982/usuvp.

2.5. RECOMENDACIONES

El simulador web es una herramienta que permite realizar la evaluación en línea, de esta manera se pueden diagnosticar diferentes tierras para determinar la capacidad de uso del suelo urbano en planicies y terrazas del Sureste de México; sin embargo existen limitantes tales como:

- a) El usuario debe conocer conceptos básicos relacionados con los factores que integran el simulador. Se pretende que esta información sea útil para las instituciones enfocadas a la planeación, diseño y desarrollo de asentamientos humanos urbanos como unidades habitacionales, centros comerciales e industriales y zonas recreativas. Así mismo, es de utilidad para asesores y tomadores de decisiones en los diferentes ámbitos de gobierno y asociaciones civiles enfocadas a la urbanización.
- b) La información que se requiere no esté accesible. Para la aplicación de esta herramienta es necesario contar con la cartografía de los factores ambientales, confiable y a la escala adecuada.
- c) El simulador solo evalúa de forma puntual y no de forma espacial. Por lo cual es necesario diseñar un modelo espacial en el que se pueda representar cartográficamente las zonas con diferente capacidad de uso urbano, para tener una visión amplia de una región para la planeación de nuevos centros urbanos.

2.6. BIBLIOGRAFÍA

- Añó, C., Pascual, J.A. y Sánchez, J. 2005. Capacidad de uso y sellado antropogénico del suelo en la franja litoral de la provincia de Castellón. *Investigaciones Geográficas* 38: 65-77.
- Blum, W. E. H. 2002. Soil quality indicators based on soil functions. 149-151. In: Rubio, J.L., Morgan, R. P., Asins, S. y Andreu, V. (ed.). *Proceedings of the Third International Congress of the European Society for Soil Conservation*. Geofoma Ediciones, Logroño.
- Bolund, P. Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29: 293-301.
- Cadiñenos, J. A., Meaza, G.. 1998. Bases para una Biogeografía aplicada: criterios y sistemas de valoración de la vegetación. Geofoma Ediciones. Logroño, España.
- Cram, S., Cotler, H., Morales L. M., Sommer I., Carmona, E. 2007. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas* 66: 81-104.
- DOF (Diario Oficial de la federación).1988. “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Nueva ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada en DOF el 5 de julio de 2007.
- Edeso, J. 2008. Riesgos naturales geológicos y geomorfológicos. *Lurralde: Investigación y Espacio* 31: 325-374.
- Falcón, López. R. 2002. Degradación de suelos: causas, procesos, evaluación e investigación. Segunda edición. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- FAO. 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. In: *FAO Land and Water Bulletin* No. 8. FAO, Roma.
- Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). 2007. Estado de la población mundial 2007. Liberar el potencial del crecimiento urbano. Capítulo 5. http://www.unfpa.org/swp/2007/spanish/chapter_5/index.html. (Consultado del 20 de febrero de 2012).
- Forio 2011. Forio Simulate. <http://forio.com/>.
- Hicks, R. W., and Hird C. 2007. Soils and urban land use in: soils their properties and management. pp 394–405. In: Charman P.E.V. y B.W. Murphy. (ed). Oxford University Press. Third edition. Hong Kong.

- Hulbert, L., Peterson, S., Wallis, J. & Richmond, B. 2000. Stella research software. Hanover (USA): High Performance Systems Inc.
- 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, Mor.
- INEGI. 2001. Síntesis de información geográfica del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma.
- Keller, E.A., Blodgett, R.H. (2004). Riesgos naturales. Procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Pearson. Prentice Hall. Madrid.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G. Harris., R. F., Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation Soil Sci 61: 4-10
- Lambin, E. F., Turner, B., Helmut J. G., Samuel, B. A., Arild A. D., John W. B., Oliver T. 2001 Global Environmental Change 11: 261-269
- Lugo, H. J. 2011. Diccionario geomorfológico. UNAM, Instituto de Geografía, México.
- Lugo, H. J. y Córdova, C. 1999 Regionalización geomorfológica de la Republica Mexicana. Investigaciones Geográficas 25: 25-63.
- Medellín-Mílan, P. 2002. Uso del Suelo. Publicado en Pulso, Diario de San Luis Sección Ideas, San Luis Potosí, México. En línea: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021114.pdf> (consultado el 30 de octubre de 2011).
- Moreno-Osorio, C. 1992. Fundamentos de geomorfología. México. 2da. Edición. Editorial trillas.
- OEA (Organización de Estados Americanos). 1993. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Washington, D.C.
- Ortiz-Pérez, M. A., Sibe, C., y Cram, S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. pp 305-321. In: Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (ed.) Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología de la UNAM-CONABIO, México.

- Palma-López. D. J., Cisneros, J. D., Moreno, C. E. y Rincón-Ramírez, J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pereyra, F., Boujon, P., Gómez, A., Ello, N., Tobío M. I., y Lapido., O. 2010. Estudio geocientífico aplicado a la evaluación de la aptitud para la urbanización en la cuenca carbonífera de río turbio, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 505-519
- Porta, J., López-Acevedo M., C. Roquero L. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España.
- Porta, J. y López-Acevedo M. 2005. *Agenda de campo de suelos*. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa.
- Rodríguez, J. 2002. Parámetros Geomecánicos de las arcillas superficiales de la Sabana de Bogotá. En memoria de IX Congreso colombiano de Geotecnia, Medellín, Colombia. Congreso Colombiano de Geotecnia, Medellín, 2002.
- SAOP (Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas), SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social), UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2011. Programa de desarrollo urbano de la zona metropolitana de la Ciudad de Villahermosa Tabasco. http://www.saop.gob.mx/saop/publicaciones-estudios-oyectos/estudios/PDUZM/programa/PDUZM_CD_VHSA_FINAL.pdf. (Consultado 15 de enero de 2012).
- SGM (Servicio Geológico Mexicano). 2007. Carta geológica de la República Mexicana escala 1: 2, 000,000. Sexta edición. Pachuca, Hidalgo.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos, y análisis. Diario oficial (segunda edición). México D.F.
- Soil Survey Staff. 1993. *Soil survey manual*. Soil Conservation Service US. Department of Agriculture Handbook.
- Steiner F., L. McSherry, J. Cohen. 2000. Land suitability analysis for the upper Gila River watershed. *Landscape Urban Plan* 50: 199–214
- Svoray, T. P. Bar, T. Bannet. 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

- Scornik, M. B., Miguel A. P., Víctor S. 2005. Criterios básicos para la ordenación de espacios urbanos vulnerables del AMGR. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas- Universidad Nacional del Noreste. Chaco, Argentina.
- Tsige, M. 2008. Suelos difíciles en geotecnia: caso de las arcillas expansivas. Ingeopres 167: 33-39.
- West, R.C., Psuty, N. y Thom B. G. 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. Instituto de Cultura de Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F., México.
- Yang, X., J. M. Gray, G. A. Chapman, M. A. Young. 2008. Soil landscape constraint mapping for coastal land use planning using geographic information system. J Coast Conserv 11: 143–151.
- Zavala-Cruz J., O. Castillo A., A. I. Ortiz C., D. J. Palma-López, J. F. Juárez L., S. Salgado-García, J. A. Rincón-Ramírez, E. Moreno C., R. Ramos R. 2009. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco, con base en suelo, uso actual y vegetación. 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, Tabasco, México.
- Zavala C. J., Castillo A. O., Ortiz P. M. A., Guerrero P. A., Córdova A. V., y Palma-López, D. J. 2011. Geomorfología, suelo, uso del suelo y capacidad de uso rural y urbano en subcuencas y zona periurbana de Villahermosa, Tabasco. Colegio de Postgraduados, FOMIX Tabasco, Red Académica Sobre Desastres en Tabasco. H. Cárdenas.

CAPITULO III. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA TABASCO

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO DEL SUELO URBANO EN LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA TABASCO

M. Antonio **Morales-Garduza**^{1*}; Joel **Zavala-Cruz**¹; D. Jesús **Palma-López**¹; C. Alberto **Ortiz-Solorio**²; Luis **Vargas-Villamil**¹

¹ Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Periférico Carlos A. Molina S/N. A.P 24 Cárdenas, Tabasco, México. C.P. 86500. (morales.marcos@colpos.mx). ² Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México

RESUMEN

La mayor superficie de la ciudad de Villahermosa y su zona periurbana se asienta sobre planicies aluviales que han sido afectadas por inundaciones severas en los últimos años. La evaluación de la capacidad de uso del suelo de esta región es importante para la planeación de futuros asentamientos humanos. Por lo que, se utilizó un modelo simplificado de un trabajo previo para la integración de un mapa de determinación de capacidad de uso del suelo urbano. El mapa fue realizado mediante álgebra de mapas utilizando sistemas de información Geográfica. La superficie evaluada fue de 103 285.6 ha a una escala 1: 20 000, siendo los factores evaluados: frecuencia de inundación, relieve, pendiente del terreno, suelo y uso del suelo. La evaluación mostró que solo el 13.7% de la superficie de la zona periurbana de Villahermosa corresponde a las clases I y II, sin restricción y ligeras restricciones, respectivamente, coincidiendo con relieves de terrazas ligeramente a moderadamente onduladas, con suelos Alisoles, Acrisoles, Luvisoles, Cambisoles y Lixisoles. La clase III cubre el 9.4%, presenta moderadas restricciones y está asociada a relieves de diques naturales, lomeríos planos a ligeramente convexos, suelos Fluvisoles, Cambisoles y algunos Gleysoles Álicos. Las clases IV y V, con el 61.9%, tienen severas limitaciones para la urbanización, ocupan la mayor superficie, se relacionan con planicies, cubetas de inundación y valles acumulativos con suelos Gleysoles, Histosoles y Acrisoles Cutánicos Gléyicos. Las tierras de clase I y II se recomiendan para el uso urbano, pero las de clase II deben protegerse contra inundaciones raras.

Palabras clave: Planicie aluvial, terraza, uso del suelo, capacidad de uso urbano.

EVALUATION OF THE CAPACITY OF URBAN LAND USE IN THE PERIURBAN AREA OF VILLAHERMOSA, TABASCO

M. A. Morales-Garduza^{1*}; J. Zavala-Cruz¹; D. J. Palma-López¹; C. A. Ortiz-Solorio²; L. Vargas-Villamil¹

¹ Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Periférico Carlos A. Molina S/N. A.P 24 Cárdenas, Tabasco, México. C.P. 86500. (morales.marcos@colpos.mx). ² Edafología, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México

ABSTRACT

The largest area of the city of Villahermosa and its suburbs is built upon floodplains that have been affected by severe flooding in recent years. Assessing the usability of the soil of this region is important for planning future human settlements. So, we used a simplified model of a previous work for the integration of a map for determining the capacity of urban land use. The map was produced by map algebra using Geographic Information Systems. The tested area was 103 285. 6 ha with a scale of 1: 20 000, the assessed factors being: flood frequency, relief, slope, soil and land use. The evaluation showed that only 13.7% of the surface of the periurban area of Villahermosa corresponds to classes I and II, without restriction and mild restrictions, respectively, coinciding with slightly to moderately sloping terraces reliefs, with Alisols, Acrisols, Luvisols, Cambisols and Lixisols soils. Class III covers 9.4%, has moderate restrictions and is associated with reliefs of natural banks, flat to slightly convex hills, and Fluvisols, Cambisols and some Alic Gleysols soils. Classes IV and V, with 61.9%, have severe limitations for urban development; they occupy the largest surface and are associated with plains, flood basins and cumulative valleys, with Gleysols, Histosols and Gleyic Acrisols. The lands of class I and II are recommended for urban use, but those from class II should be protected against rare floods.

Keywords: alluvial plain, terrace, land use, urban usability.

3.1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Villahermosa, a partir del desarrollo de la industria petrolera en Tabasco, ha crecido a un ritmo acelerado y actualmente tiene una población de 644 629 habitantes, es la vigésima segunda más poblada de México y la segunda más poblada del sureste del país, después de Mérida (INEGI, 2005). Esta ciudad se asienta en dos regiones ecogeográficas: planicie fluviodeltaica y terrazas (Ortíz *et al.*, 2005; Zavala *et al.*, 2011). La primera es una superficie casi plana, formada por depósitos aluviales del Cuaternario Holoceno (SGM, 2007), las pendientes son menores al 2%, y los asentamientos humanos y cultivos sufren inundaciones periódicas. Las terrazas son terrenos formados por areniscas, lutitas y conglomerados del Terciario Mioceno y Pleistoceno (SGM, 2007), tienen relieve ligeramente ondulado con pendientes de 2 a 11%. Hasta la década de los años 70 la ciudad creció sobre las terrazas no expuestas a inundaciones; pero en esa década los asentamientos urbanos se expandieron sobre la planicie fluviodeltaica en relieves de diques naturales y planicies de inundación, exponiéndose a los desbordes frecuentes de los ríos que la rodean. Particularmente fue afectada por severas inundaciones en 1984, 1999, 2007 y 2009 (Galindo-Alcántara *et al.*, 2009; SAOP *et al.*, 2011), ocasionando afectaciones y pérdidas económicas a los habitantes (Vaquera y Aguirre, 2012).

La planificación del crecimiento de las ciudades debe tomar en cuenta factores ambientales como: inundación, relieve, uso del suelo, pendiente y suelo (Hicks y Hird, 2007; Scornik *et al.*, 2005; Yan *et al.*, 2008; Pereyra *et al.* 2010). Las inundaciones son el riesgo natural que más daño causa a las poblaciones asentadas en planicies aluviales (Olcinas, 2004) y se pueden zonificar a través del grado de vulnerabilidad o frecuencia, por investigación directa con personas afectadas; también con base en información de estudios de suelos, hidrológicos, geomorfológicos, topográficos y fisiográficos (IMTA, 1989; Soil Survey Staff, 1993). El conocimiento del relieve y la pendiente del terreno son la base principal para la planeación urbana, las planicies de inundación con pendientes menores a 5% no se recomiendan para urbanizar, pues la población se expone a inundaciones frecuentes, y las laderas escarpadas con pendientes mayores al 30%, no son recomendables por el riesgo de deslaves; pendientes de 5 a 25% son las más favorables para uso habitacional, industrial, comercial y recreativo (Steiner *et al.*, 2000; Svoray *et al.*, 2004; Hicks y Hird, 2007). Características físicas y químicas de los suelos deben considerarse en un desarrollo urbano planificado, tales como profundidad, potencial de expansión-retención, drenaje, materia orgánica (MO), salinidad, pH, conductividad hidráulica, características nutricionales y susceptibilidad a la erosión (Porta *et al.*, 2003; Porta y López-Acevedo, 2005; Hicks y Hird, 2007). El cambio de la cubierta vegetal natural y agrícola a usos urbanos afecta el funcionamiento de los

ecosistemas y la gravedad de las repercusiones depende de dónde y cómo se ampliarán los asentamientos urbanos (UNFPA, 2007), por lo tanto se debe considerar el uso del suelo en la planeación urbana (Cadiñanos y Meaza, 1998; Zavala *et al.*, 2009).

Como alternativa para la planeación de futuros asentamientos humanos en zonas aptas para uso del suelo urbano, este trabajo se planteó como objetivo evaluar la capacidad de uso del suelo urbano de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, usando como base cartografía de factores y variables ambientales, bajo la hipótesis que las terrazas tienen zonas aptas para el uso de suelo urbano en la planicie donde se ubica Villahermosa, Tabasco.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en la zona periurbana de la ciudad de Villahermosa Tabasco, y los centros de población aledaños Ocuilzapotlán, Macultepec, Villa Parrilla, Playas del Rosario, Dos Montes, Luis Gil Pérez y Lomitas, así como el Aeropuerto Internacional. Las coordenadas geográficas son: 17° 50' 47" y 18° 08' 07" de latitud norte, y 92° 45' 47" y 93° 04' 01" de longitud oeste, en una superficie de 103 285.6 ha (Figura 3.1). El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano; la precipitación media anual es de 2 010.4 mm, presentándose las lluvias más intensas en el mes de septiembre; la temperatura media anual es de 23.6°C, siendo la máxima media mensual en mayo con 29.8°C, y la mínima media mensual en diciembre y enero con 22.8°C (INEGI, 2005). Caudalosos ríos rodean la ciudad, destacando el de La Sierra al este y sureste, y el Carrizal al oeste y norte; ambos se unen al noreste y forman el río Grijalva que desagua hacia el Golfo de México. Al sur, en la época de lluvias se activa el río Viejo Mezcalapa que se une al río Pichucalco, y este al río de La Sierra. La mayor parte del caudal es aportado por los ríos de La Sierra y Pichucalco que nacen en la Sierra Norte de Chiapas. El Carrizal drena parte del caudal aportado por el río Grijalva-Mezcalapa proveniente de Chiapas y Guatemala.

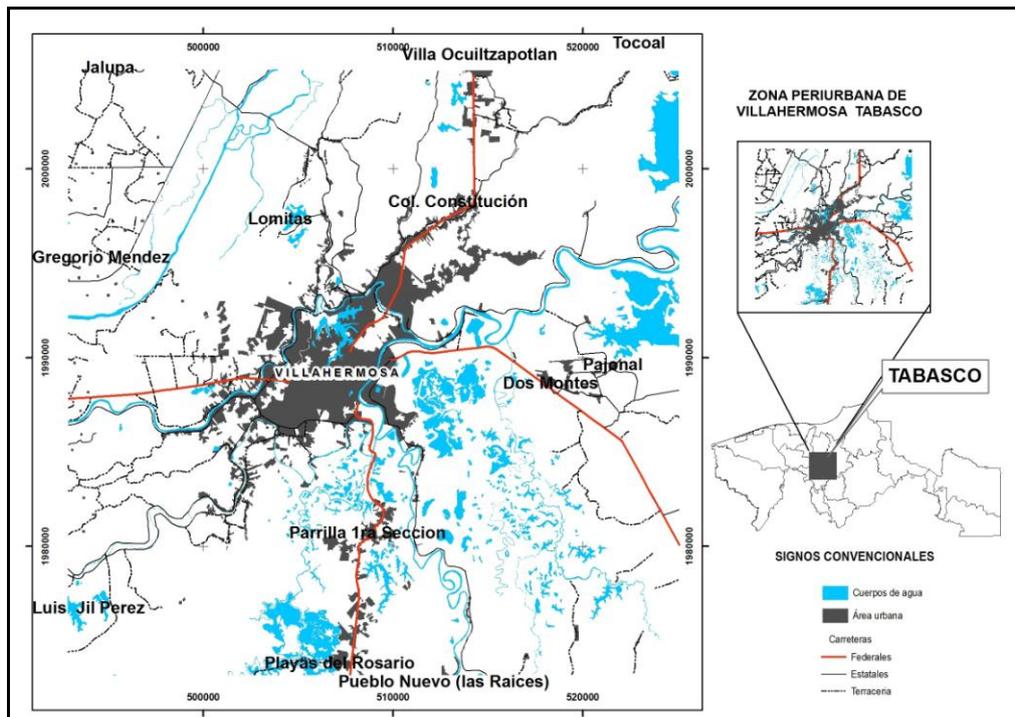


Figura 3.1. Localización geográfica de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

3.2.2. Búsqueda de información

Como primer paso se realizó la búsqueda de información sobre cartografía topográfica y temática (suelos, geología, clima, vegetación, uso del suelo, geomorfología, inundaciones), imágenes de satélite SPOT, ortofotomapas a escala 1: 10 000 (INEGI, 2010) y fotografías aéreas a escala 1: 75 000 (INEGI 1984 y 2000). Se obtuvo información de estudios de los factores ambientales (Ortíz *et al.*, 2005; Palma-López *et al.*, 2007; Zavala *et al.*, 2009; Zavala *et al.*, 2011; SAOP *et al.*, 2011).

En razón de que la mayor parte de la cartografía publicada era a escala semidetallada y de reconocimiento (1: 50 000 a 1: 250 000), se generaron mapas actualizados a escala 1: 20 000 de cada factor para la aplicación del modelo de Capacidad de Uso del Suelo Urbano en la zona periurbana de Villahermosa Tabasco (capítulo 2 de esta tesis).

3.2.3. Cartografía de relieves

El mapa de relieves (geomorfología) se elaboró partiendo de las regiones ecogeográficas zonificadas para Tabasco por Ortiz *et al.* (2005), y tipos de relieve reportados para planicies aluviales por West *et al.* (1985), Ortiz y Benítez (1996), Ortiz *et al.* (2005) y Zavala *et al.* (2011). Se generó un mapa de pendientes y un modelo digital de elevación (MDE) del terreno con base en mapas topográficos escala 1: 50 000, usando el programa ArcMap 9.2. El mapa de relieves se elaboró mediante fotointerpretación de ortofotomapas y fotografías aéreas, y se

mejoró con base en el mapa de pendientes y el MDE. En el campo, se verificaron varios sitios por tipo de relieve obteniendo datos de forma del relieve, pendiente, procesos, litología y tirante de agua. Las coordenadas y datos de altura sobre el nivel del mar (asnm) se obtuvieron con un GPS. En gabinete se corrigieron los linderos erróneos de los relieves y se procesó el mapa final con un sistema de información geográfica (SIG).

3.2.4. Cartografía de suelos

Sobre el mapa de relieves se ubicaron 52 perfiles edafológicos tomando en cuenta la variabilidad del tipo de relieve y la accesibilidad del área; en la planicie fluvial se establecieron varios transectos en sentido perpendicular al cauce de los ríos. Se describieron de acuerdo al manual publicado por Cuanalo (1990). Las muestras de suelo se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, y se analizaron con base en las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de clasificación de suelos que marca la NORMA Oficial Mexicana NOM-021RECNAT-2000 (Diario Oficial, 2002). Se realizaron los siguientes análisis: pH, Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura. El estudio se complementó con los datos físicos y químicos de 49 perfiles de suelos reportados por Zavala *et al.* (2006 y 2009). Con los datos de análisis químicos y la descripción en campo se hizo la clasificación de los grupos y unidades de suelos de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Se precisaron algunos linderos mediante fotointerpretación en las zonas de transición entre terrazas y la planicie aluvial, y en valles de las terrazas. Con la utilización de los SIG se obtuvo el mapa final de suelos.

3.2.5. Cartografía de inundaciones

Se diseñó un cuestionario para obtener datos de frecuencia de inundaciones utilizando como base el mapa de relieves. Se realizaron 132 entrevistas a personas, productores y propietarios, cuya edad promedio fue de 52 años (Anexo 1). El número de entrevistas dependió de la accesibilidad del terreno y de la disposición de las personas. Los datos de las entrevistas se integraron en una base de datos para su análisis. Mediante el uso de SIG y el mapa de relieves, se generó el mapa de frecuencia de inundaciones siguiendo los criterios establecidos por IMTA (1989), Schoeneberger *et al.* (2002) y Soil Survey Staff (1993).

3.2.6. Cartografía de tipo de pendientes

Se utilizó un modelo digital de elevación de la cuenca del río Grijalva, el cual se generó con el software ILWIS 3.1 a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas de INEGI (1992). Se realizó un recorte de la zona de estudio y posteriormente se clasificaron los tipos de pendiente en 6 clases: < 1%, 1 a 2%, 3 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% y > 30%, de acuerdo a criterios establecidos por IMTA (1989) y Hicks y Hird (2007).

3.2.7. Cartografía de uso del suelo

Para generar la cartografía de uso del suelo se utilizó una imagen de satélite SPOT del año 2010; con el uso del software Erdas Imagine 9.2 y 250 puntos de entrenamiento tomados en campo, se clasificó la imagen a escala 1: 20 000 obteniéndose los usos de suelo y tipos de vegetación, cuya clasificación se adoptó de estudios realizados por INEGI (2001) y Zavala *et al.* (2009).

3.2.8. Cartografía de capacidad de uso del suelo urbano

Para la clasificación de capacidad de uso del suelo urbano se modificó el modelo matemático que considera los factores y variables descritos en el Capítulo 2 de esta tesis. En este nuevo modelo el factor suelo se calificó considerando las dos variables que mayor restricción presentaron; se adoptó la clasificación de capacidad de uso de suelo urbano propuesta por Hicks y Hird (2007), la cual está integrada por 5 clases donde las restricciones se incrementan de la clase 1 a la V. Posteriormente se integró el modelo con el modulo Raster Calculator del software Grass 6.4.2 (Anexo 1) y se obtuvo un mapa de Índice de Capacidad de Uso del Suelo Urbano (ICUSU) en escala de 0 a 100%. Se reclasificaron y agruparon los pixeles para definir las clases de capacidad de uso del suelo urbano de acuerdo con Hicks y Hird (2007).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Relieve

La planicie fluvial es el sistema morfogénico más extenso pues ocupa el 57.8% del área de estudio, se localiza alrededor de la ciudad de Villahermosa, de norte a sur su altura varía de 2 a 10 msnm y la pendiente general es inferior al 2%. Fue edificada por acumulación diferencial de sedimentos durante las inundaciones fluviales de los ríos en el Cuaternario Holoceno (Ortíz *et al.* 2005; SGM 2007). Los relieves son variados, el cauce puede ser activo como en los ríos Grijalva, Carrizal, Samaria, Sierra y Pichucalco, e inactivo (o antiguo) como en los ríos Viejo Mezcalapa y Medellín. Es de forma cóncava, sinuosa con meandros y materiales arenosos; los cauces inactivos solo tienen caudal en la época de lluvias, de julio a febrero.

Representan el 1.2% del área, y en el entorno de la ciudad de Villahermosa se están rellenando parcialmente para los asentamientos humanos. El dique natural (o llanura alta) se ubica en franjas paralelas a los cauces de los ríos, se formó por las constantes inundaciones que depositan los sedimentos de textura media a gruesa, son de forma plana a ligeramente convexa, se elevan uno a dos metros sobre la llanura aluvial baja por lo que son las tierras más elevadas y con mejor drenaje superficial dentro de la planicie fluvial (West *et al.* 1985; Zavala, 1988; Ortíz *et al.* 2005), tienen pendientes menores a 2%, ocupan el 6% del área y su mayor extensión se ubica entre los ríos Viejo Mezcalapa y Carrizal, al suroeste de Villahermosa. Es un relieve preferido para la urbanización y el uso agropecuario. Posterior a los diques naturales, se localizan los diques de transición, de forma plana, con pendiente de 1%, sedimentos de textura fina a media, su extensión es del 12% del área total y están en proceso de urbanización a base de rellenos con materiales *ex situ*, la mayor superficie se observa hacia el oeste de la ciudad. La llanura aluvial baja se localiza posteriormente a los diques naturales y diques de transición, son terrenos planos a cóncavos con pendiente menor a 1%, las inundaciones con aguas más tranquilas depositan sedimentos en menor volumen y generalmente son arcillosos, por lo que el relieve se ubica en una posición topográfica más baja, generalmente de dos a cuatro metros con respecto a los diques naturales, en consecuencia sufre inundaciones todos los años por periodos de 3 a 6 meses (Zavala, 1988; Ortíz *et al.* 2005; Zavala *et al.* 2011); representa el 23% del área siendo el relieve más extenso de la planicie aluvial. La cubeta de decantación se ubica en las zonas más bajas de la planicie fluvial (2 a 8 msnm), tiene forma cóncava, sedimentos arcillosos intercalados con materiales orgánicos, flujo de agua lento y permanece inundada la mayor parte del año, ocupa el 15.6% del área, y localmente se identifica como pantano, tembladera y laguna.

Las terrazas son de forma plana a ondulada con pendiente general de 2 a 15% y altitud de 10 a 56 msnm, se formaron por procesos de erosión fluvial de rocas lutitas, areniscas y conglomerados de edad Mioceno al Pleistoceno (SGM 2007), representan el 28.2% del área y su mayor extensión se encuentra al este y sur de Villahermosa, donde generalmente no se inundan, pero múltiples terrazas-isla emergen de la planicie aluvial y pueden inundarse (Figura 3.2). La zona de transición planicie aluvial-terrazza es una estrecha superficie (menos de 1% del área total) de 50 metros de ancho que rodea las terrazas y se encuentra en contacto con la planicie fluvial, presenta una mezcla de sedimentos aluviales con material intemperizado de la terraza, la pendiente no supera el 3% y se inunda todos los años por desbordes de los ríos. Lomeríos planos a cóncavos son terrazas-isla con pendiente inferior a 1% y altura entre 1 y 2 m sobre la planicie fluvial, se distribuyen al norte y noroeste de

Villahermosa, ocupando el 9.2% del área; se inundan varios meses al año. Lomeríos planos a convexos son relieves que presentan ligeras ondulaciones que van de 8 a 13 msnm y sobresalen de la planicie fluvial como terrazas-isla de forma elíptica, también se encuentran en las partes bajas de las terrazas más elevadas, presentan pendientes de 1 a 3% y ocupan el 10.8% del área; pueden inundarse pero tienen asentamientos humanos rurales como Lomitas, Tierra Amarilla y Dos Ceibas.

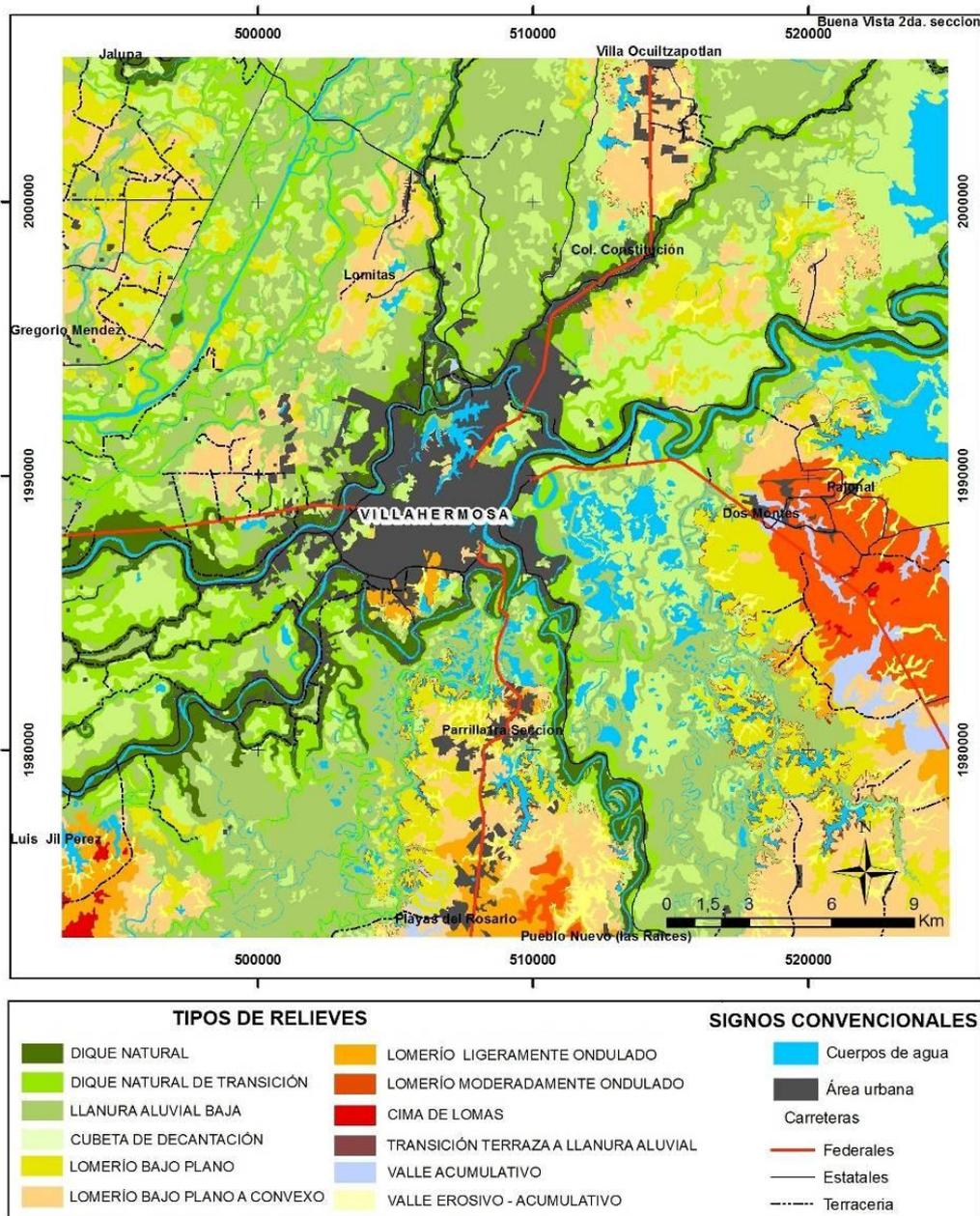


Figura 3.2. Tipos de relieve de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Lomeríos ligeramente ondulados se ubican en el centro, sur y suroeste del área de estudio, con alturas entre 14 y 25 msnm, pendientes de 5 a 10% en pequeñas superficies (1.9% del total), coinciden con los asentamientos en la ciudad de Villahermosa, Playas del Rosario y Luis Gil

Pérez, así como el aeropuerto internacional de Villahermosa. Lomeríos moderadamente adulados son las terrazas más elevadas, se sitúan de 15 a 56 msnm, con pendientes de 3 a 15%, se localizan al este y sureste, ocupando el 3.3% del área. Entre las terrazas se encuentran valles acumulativos de forma plana y alargada, reciben sedimentos proluviales aportados por arroyos que drenan las laderas; se inundan en la época de lluvias y ocupan menos del 1% del área. Valles erosivo-acumulativos se forman por el proceso de erosión fluvial de las terrazas, tienen mayor pendiente que los acumulativos, son de forma cóncava y ocupan el 1.9% del área; en las posiciones cercanas a la planicie fluvial, pueden inundarse en la época de lluvias.

3.3.2. Pendiente

En la zona periurbana de Villahermosa prevalecen las pendientes de 0 a 1% en el 68% del área, coincidiendo con el sistema de planicies fluviales y terrazas planas a cóncavas (Figura 3.3 y Anexo 1).

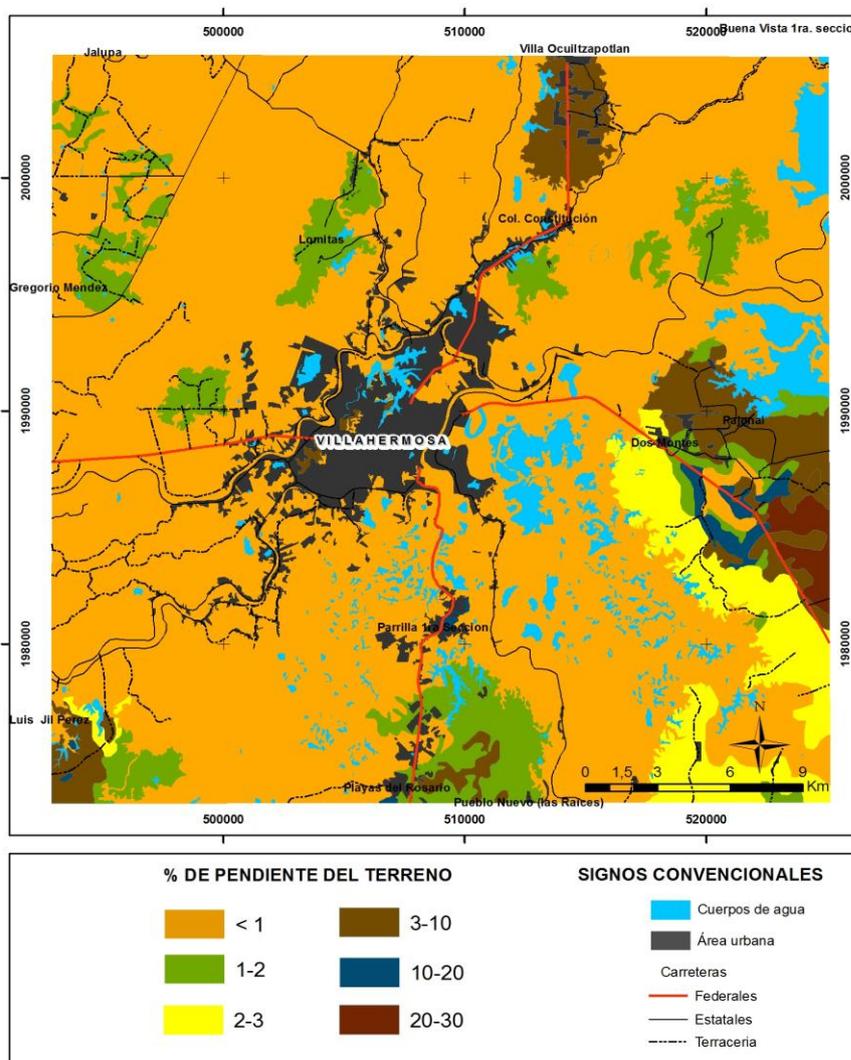


Figura 3.3. Mapa de pendientes (%) de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Las pendientes de 1 a 3% se ubican en las terrazas-isla y lomeríos bajos a ligeramente convexos, abarcando el 15.6% del área. Las pendientes de 3 a 10% y 10 a 30% representan el 3.5 y 1.3% del territorio, respectivamente, y se ubican en lomeríos ligera y moderadamente ondulados. Los valores de inclinación de los relieves indican que la ciudad de Villahermosa está rodeada por tierras con pendiente menor a 1%, y las zonas con pendiente mayor a 3% se ubican en terrazas localizadas a 16 km, principalmente al este y sur de la ciudad

3.3.3. Inundación

Las personas entrevistadas informaron que el 80 % de las inundaciones son ocasionadas por desbordes de los ríos en los meses de agosto a noviembre. En las cubetas de decantación el 100 % de los informantes confirmó que se inundan más de 3 meses al año, la lámina de agua en la época de lluvias alcanza alturas de hasta 3 m, por lo que se clasificaron como áreas permanentemente inundables. El 100 % de los entrevistados indicó que las llanuras aluviales bajas, los diques naturales de transición, los lomeríos bajos planos a cóncavos y los valles erosivos y acumulativos, se inundan todos los años de 40 a 60 días, con alturas de la lámina de agua de 120 a 140 cm; la frecuencia de inundaciones de estos relieves es mayor a 50 veces en 100 años en una superficie del 34 % del área. En los diques naturales, los entrevistados indicaron que un 90 % sufre inundaciones clasificadas como ocasionales en 100 años (de 5 a 50 veces en 100 años), que les afectan 9 días en promedio, y la lámina de agua alcanza 140 cm de altura; en una superficie del 9.8 % del área. En las terrazas de lomeríos planos a convexos, el 20 % de los entrevistados indicó que solo se ha inundado en 2007, con tiempo promedio de 5 días y altura de la lámina de agua de 100 cm, la frecuencia de inundaciones es de 1 a 5 veces en 100 años en una extensión del 18.9 % del área. En los lomeríos ligera y moderadamente ondulados, el 100 % de los entrevistados indicó que no se tiene registro de inundaciones; se clasificaron como zonas libres de inundación y representan el 16.5 % del área (Figura 3.4 y Anexo 2)

3.3.4. Suelo

Se identificaron 10 unidades y 30 subunidades de suelos (Figura 3.5) y Anexos 2 y 3. Los Fluvisoles (FL) ocupan el 23.4% del área, se desarrollan sobre los diques naturales, muestra estratificación en por lo menos 25% del volumen del suelo, un contenido de Carbono Orgánico (CO) que decrece irregularmente con la profundidad, o que permanece por encima de 0.2% a una profundidad de 100 cm (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), generalmente son de textura franca a limosa, de buen contenido nutrimental, profundos, bien drenados, con

buena estructura y de colores pardos. Se identificaron las unidades FL Háplico (FLha), FL Gléyico (FLgl) y FL Mólico (FLmo).

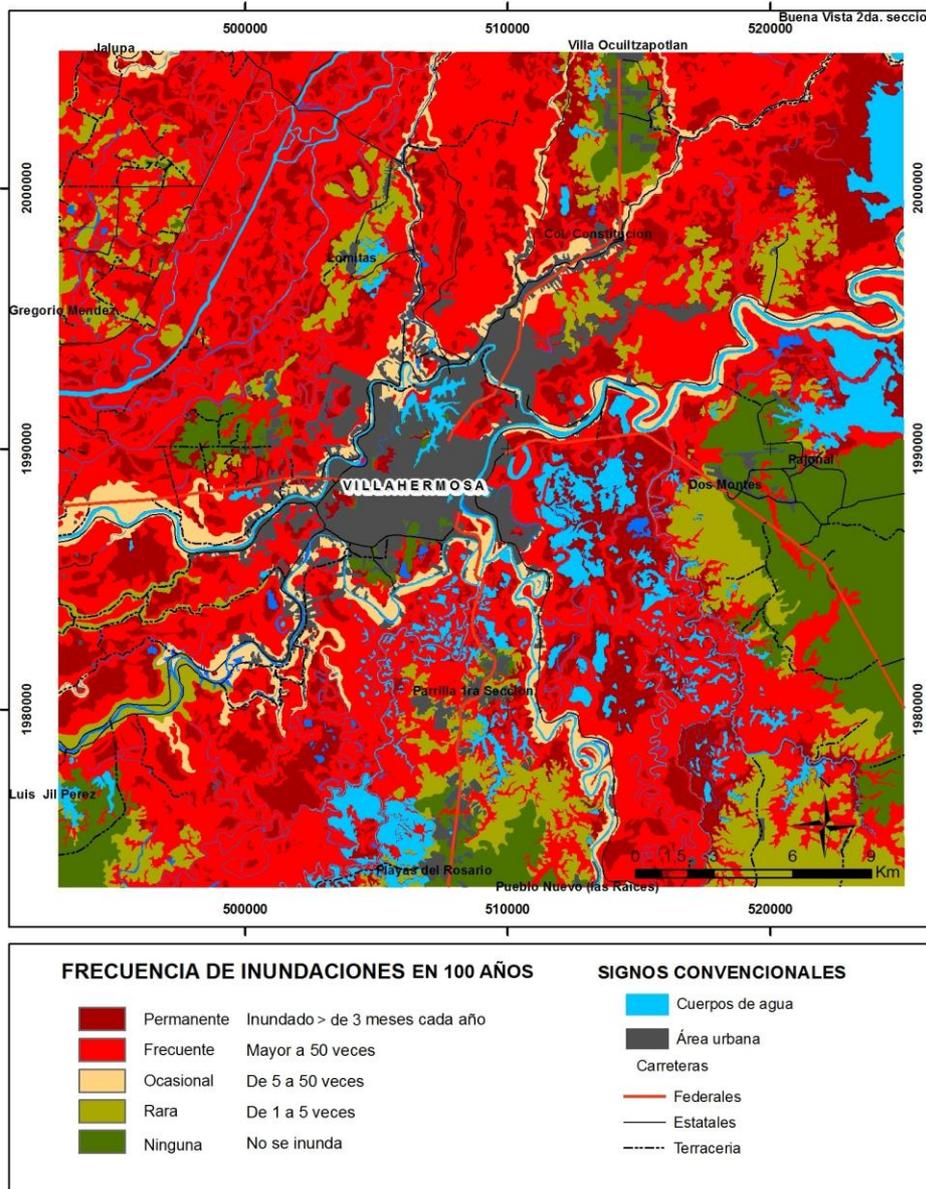


Figura 3.4. Frecuencia de inundaciones del área periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Gleysoles (GL) son los suelos con mayor superficie (39.4 % del área), presentan condiciones de oxido reducción en una capa de 20 cm o mas de espesor y un patrón de color gléyico (IUSS *et al.* 2007), son muy ricos en nutrientes, de textura arcillosa, profundos, pero tienen mal drenaje o se inundan al ubicarse llanuras aluviales bajas y cubetas de decantación. Se identificaron las unidades GL Háplico (GLha), GL Álico (GLal), GL Úmbrico (GLum), GL Hístico (GLhi), GL Lúvico (GLlv) y GL Mólico (GLmo).

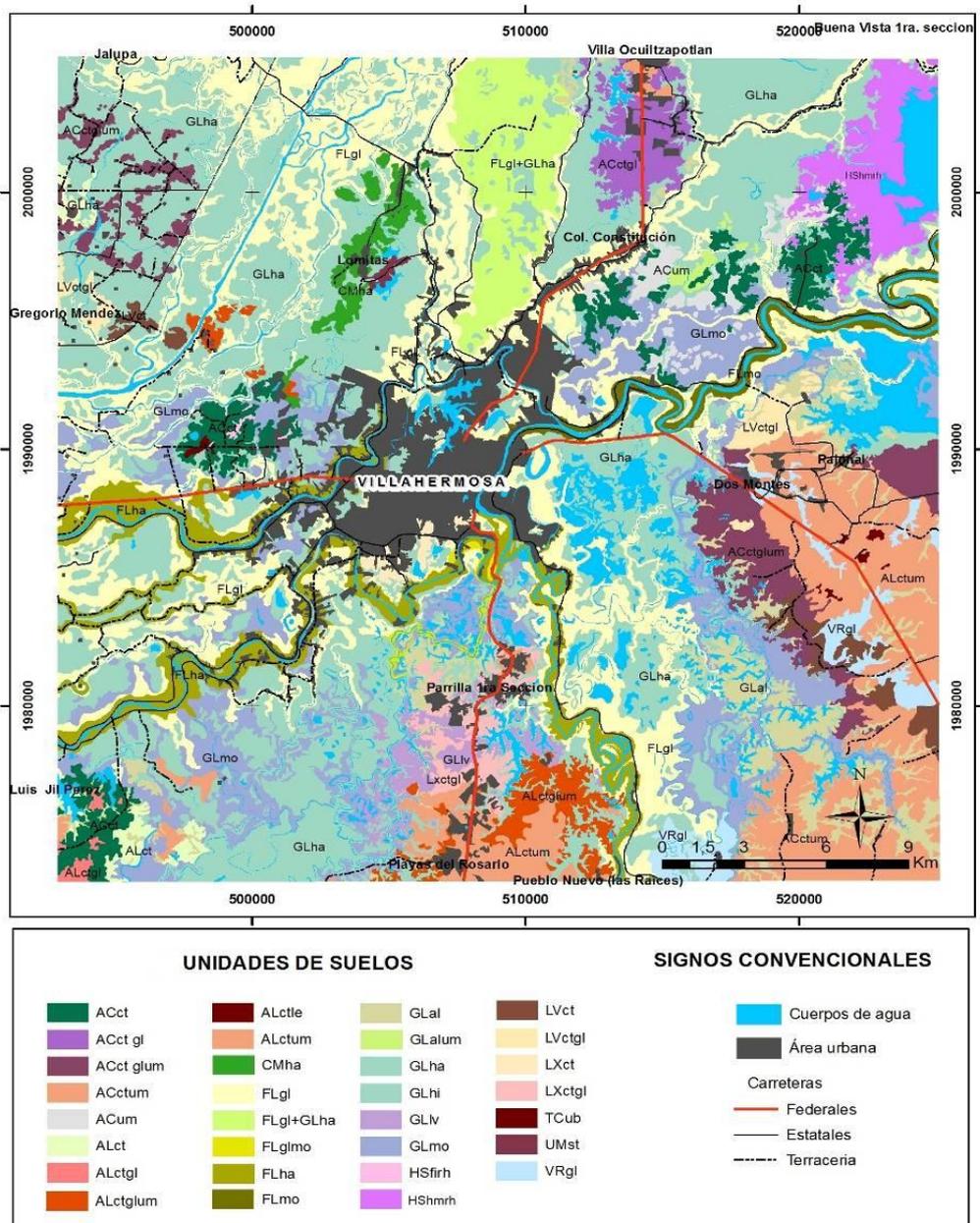


Figura 3.5. Unidades de suelos del área periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Los Vertisoles (VR) se caracterizan por tener un alto contenido de arcillas expansibles del grupo de las esmécicas, lo que ocasiona que se formen grietas que abren y cierran periódicamente por el proceso de humedecimiento y secado del suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), tienen buen contenido nutrimental, son profundos, de colores grises oscuros o pardos oscuros. En llanuras aluviales bajas y valles acumulativos, se identificó la unidad VR Gléyico (VRgl) en un 1.2% del área. Los Histosoles son orgánicos (más de 50 % de MO), permanecen inundados la mayor parte del año, se localizan en relieves de cubetas de decantación, al noreste del área de estudio, limitando con la reserva de Los Pantanos de

Centla. Se identificaron las unidades HS Fíbrico Réhico (HSfirh) y HS Hémico Réhico (HShrh) que abarcan el 1.8 % del área.

Los Cambisoles (CM) tienen un horizonte B que presenta una transformación del material parental como es color, estructura e incremento del porcentaje de arcilla (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007); son profundos, con drenaje deficiente, de textura franca y buen contenido nutrimental. La unidad CM Háptico (CMha) se ubica en la terraza de Lomitas, en el 1 % del área.

Los Acrisoles (AC) presentan un horizonte árgico (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007); están fuertemente meteorizados, tienen pH ácido, baja saturación de bases intercambiables, son profundos y con buen drenaje superficial, muy pobres nutrimentalmente, de textura franca a arcillosa, bajos contenidos de MO, generalmente de colores rojos claros; se ubican en lomeríos ligera y moderadamente ondulados en el 8.6 % del área. Se identificaron las unidades AC Cutánico (ACct), AC Cutánico Gléyico (ACctgl) y AC Cutánico Gléyico Úmbrico (ACcyglum). Luvisoles (LV) son muy similares a los Acrisoles, pero difieren por tener alta saturación de bases intercambiables. Las unidades LV Cutánico (LVct) y LV Cutánico Gléyico (LVctgl) se ubican en lomeríos al este de Villahermosa, ocupando 1.4 % del área.

Lixisoles (LX), con similar génesis a los AC y LV, suelen ser muy ácidos, profundos, con buen drenaje superficial, de mediana fertilidad, buena estructura, bajos en MO y de color rojo. Se identificaron las unidades LX Cutánico (LXct) y LX Cutánico Gleyico (LXctgl) en lomeríos bajos y ligeramente ondulados, en menos del 1 % del área.

Los Alisoles se caracterizan por ser ácidos y bien drenados, tienen baja saturación de bases en alguna de sus capas, bajo contenido de MO y nutrientes (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Las unidades AL Cutánico Gléyico (ALctgl), AL Cutánico Gléyico Úmbrico (ALctglum), AL Cutánico Léptico (ALctle) y AL Cutánico Úmbrico (ALctum) se desarrollan en lomeríos ligera y moderadamente ondulados, en el 7.1 % del área.

Umbrisoles (UM) presentan un horizonte superficial muy oscuro debido a la acumulación de MO y bajo porcentaje de bases intercambiables (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), son profundos, con buen drenaje superficial y pobres nutrimentalmente. Se identificó la unidad UM Estágnico (UMst) en pequeñas superficies (menos del 0.1% del área) de la terraza de Lomitas.

Los Tecnosoles (TC) son formados por acumulación y descomposición de basura (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), no tienen horizontes definidos, son profundos, con moderado contenidos de MO, textura arenosa, baja fertilidad y problemas de toxicidad. Se identificó la

unidad TC Úrbico (TCub) en un basurero a cielo abierto de la ciudad de Villahermosa en la terraza de Loma de Caballo; su extensión es del 0.03% del área.

3.3.5. Uso del suelo

La zona periurbana de Villahermosa se dedica principalmente a las actividades agropecuarias (59.3 %) destacando los pastizales para la ganadería de bovinos. Las aéreas con vegetación natural representan el 22.5 %, las zonas urbanas y los cuerpos de agua (lagunas y ríos) cubren el 11.8 y 5.7 %, respectivamente (Figura 3.6 y Anexo 2).

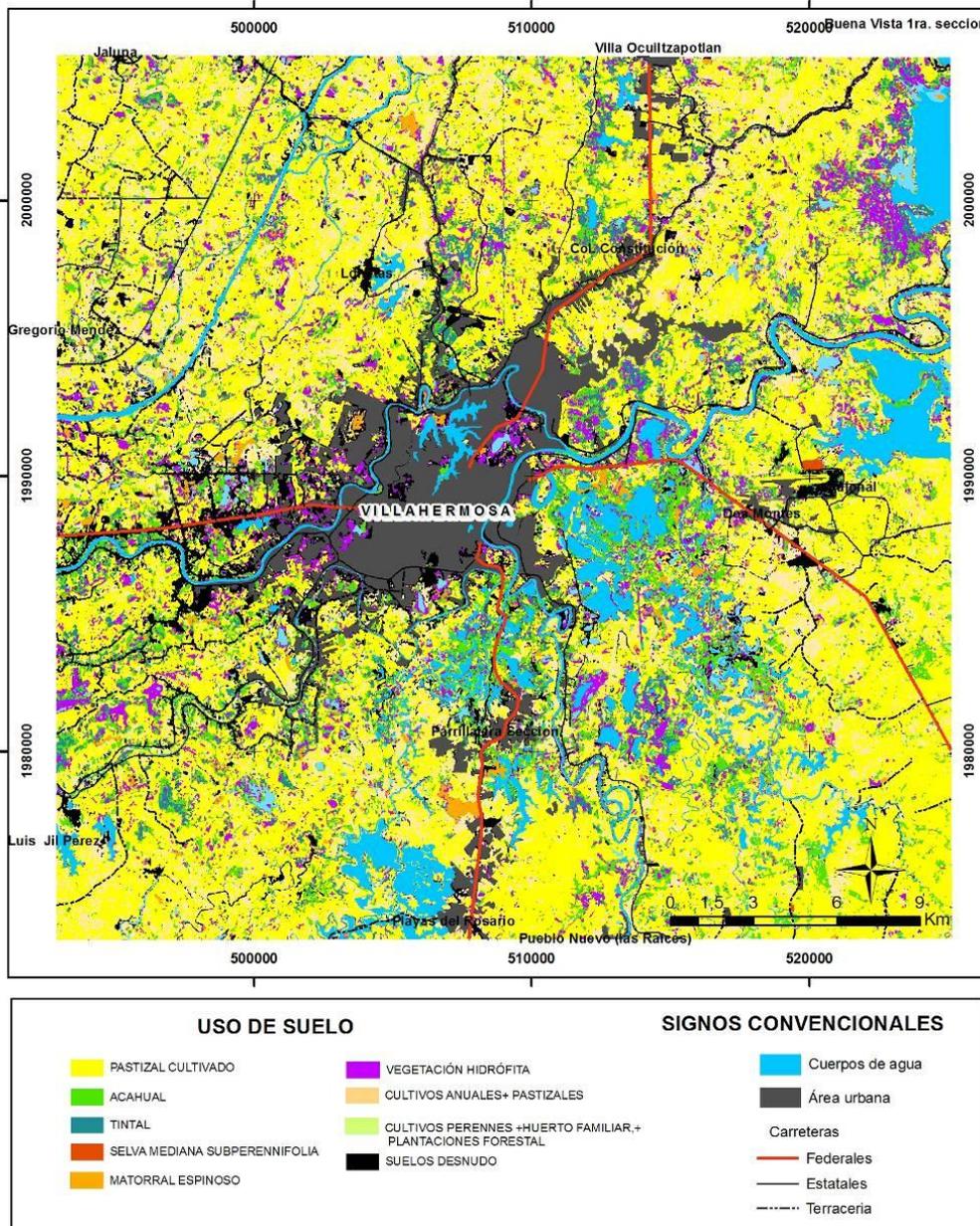


Figura 3. 6. Uso de suelo en la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

La vegetación de selva mediana subperennifolia (0.2 %), se localiza en la reserva ecológica del Yumka, la especie dominante es el ramón (*Brosimum alicastrum*) con altura de 20 a 25 m.

Pequeñas superficies (3 %) de tintales (*Haematoxylum campechianum*) que no rebasan los 15 m de altura se distribuyen en las llanuras aluviales bajas y valles acumulativos. Los acahuales (10 %) están conformados por comunidades que se desarrollan después del abandono de cultivos y pastizales, las especies comunes son guarumo (*Cecropia obtusifolia*), jolocín (*Heliocarpus donnell-Smithii*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), jobo (*Spondias purpurea*), mulato (*Bursera simaruba*), guano redondo (*Sabal monbin*), cornezuelo (*Acacia cornígera*), corozo (*Scheelea liebmanii*) y bojón (*Cordia alliodora*) (Zavala *et al.* 2009). El matorral espinoso de zarza (*Mimosa pigra*) (1.2 %) es vegetación secundaria con arbustos menores a 4 m de altura, se distribuye tanto en planicies fluviales como en lomeríos planos a cóncavos. Vegetación hidrófita (7.9%) se encuentra en las cubetas de decantación, y agrupa comunidades de plantas arraigadas al suelo cuya altura es de 2 a 3 m, con especies de espadaño (*Typha latifolia*) y popal (*Thalia geniculata*); otras asociaciones de hidrófitas flotan libremente en la superficie del agua de las lagunas, como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y pancilla (*Salvinia auriculata* y *S. minima*) (Zavala *et al.* 2009). El pastizal cultivado (53%) es el uso del suelo dominante, se localiza en terrazas y planicies; las especies importantes son estrella de África (*Cynodon plectostachium*), grama amarga (*Paspalum conjugatum*), pasto camalote (*Paspalum paniculatum*), pasto humidícola (*Brachiaria Humidicola*), pasto Egipto (*Panicum purpurencens*) y pasto alemán (*Echinochloa polystachya*); tiene especies de árboles esparcidos en las parcelas. Los cultivos perennes (3.7%) agrupa los huertos familiares, son plantas cultivadas útiles al hombre que se encuentran en el traspatio de las viviendas rurales y urbanas, pueden estar asociadas a cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), mango (*Mangifera indica*), y coco (*Cocos nicifera*); incluyen pequeñas superficies de plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arbórea*) y cedro (*Cedrela odorata*), y se localizan en terrazas y diques naturales.

3.3.6. Clases de capacidad de uso del suelo urbano

En la Figura 3.7 y en el Anexo 2 se presenta la distribución geográfica y las superficies, respectivamente, de las clases de capacidad de uso del suelo urbano de la zona periurbana de Villahermosa.

Clase I. Sin restricción para su uso. Estos terrenos se localizan en las terrazas de lomeríos ligera y moderadamente ondulados, los cuales poseen pendientes de 2 al 15%, sin problemas por inundaciones ya que se ubican entre 10 a 56 msnm. Los suelos se caracterizan por tener buen drenaje, profundos, además son pobres en nutrientes, con texturas franca a arcillosa,

de buena permeabilidad y el uso es de pastizales y algunos cultivos anuales. Tiene una superficie de 5, 617 ha (5.4% del área), la mayor extensión se localiza en terrazas ubicadas al este y sureste coincidiendo con el Aeropuerto Internacional, al sur en Villa Parilla y Playas del Rosario, y al suroeste en el poblado Luis Gil Pérez; también se distribuye en pequeñas terrazas hacia el norte, en Villa Ocuilzapotlán y el poblado El Maluco. Al respecto, Hicks y Hird (2007) mencionan que las pendientes de 5 a 25% en relieves de laderas y colinas pueden utilizarse sin problemas para uso residencial, industrial, comercial o para cualquier tipo de parques de recreación. Esta clase coincide con las zonas clasificadas como de bajo riesgo a inundaciones (Galindo-Alcántara *et al.*, 2009) y aptas para el uso urbano (Zavala *et al.* 2009; SAOP *et al.*, 2011). Por consiguiente, las tierras de la clase I se recomiendan como aptas para el desarrollo de nuevos centros urbanos en torno a la ciudad de Villahermosa.

Clase II. Ligera restricción. Los terrenos de esta clase se restringen porque tienen probabilidad de sufrir inundaciones raras o extraordinarias, ya que se ubican entre 8 y 14 msnm, se distribuyen en las terrazas de lomeríos planos a ligeramente convexos, sobre suelos profundos, de bajo nivel nutrimental, con uso de suelo de matorrales, pastizales y cultivos anuales. Se localizan al norte y noreste bordeando las terrazas de Ocuilzapotlan, Macultepec, Lomitas y otras; al este y sureste en importantes extensiones rodeando las terrazas del aeropuerto; al sur en pequeñas superficies de las terrazas de Villa Parrilla y Playas del Rosario; al noroeste en las terrazas isla de Cunduacán; y al oeste y suroeste en las terrazas de Loma de Caballo y Luis Gil Pérez. En conjunto ocupan 9, 016.4 ha (8.7% del área). Las tierras de clase II concuerdan con zonas recomendadas para el uso urbano (Zavala *et al.*, 2009; SAOP *et al.*, 2011). Sin embargo, por estar expuestas a inundaciones extraordinarias, de ubicarse nuevos asentamientos humanos, deberá desarrollarse la infraestructura necesaria para su protección.

Clase III. Moderada restricción. Los terrenos de esta clase se restringen por ubicarse en zonas con probabilidad de inundación ocasional. Coincide con los diques naturales de los ríos de la planicie fluvial en pendientes menores a 2%, y suelos Fluvisoles fértiles (Palma-López *et al.*, 2007; Zavala *et al.*, 2009) y cultivados con pastizales, huertos familiares, cultivos perennes y plantaciones forestales. Se distribuyen siguiendo la margen de los ríos que rodean la ciudad de Villahermosa. Paradójicamente, sobre estos suelos se ha dado el mayor crecimiento urbano en los últimos años, siguiendo un patrón lineal por la red de carreteras y terracerías (Figuras 1 y 2). Al respecto, García y Pérez (2011), indican que el sellado de estos suelos representa un problema grave de pérdida de fertilidad, además de los problemas medioambientales que resultan. Este proceso de degradación también se ha presentado en los

países europeos a tal grado que la Unión Europea ha establecido políticas de protección de suelos que limiten el sellado, especialmente en los más fértiles (<http://ec.europa.eu/environment/soil/> y <http://www.eeb.org/>). Este antecedente debe tomarse en cuenta en la ciudad de Villahermosa y no continuar desarrollando asentamientos humanos o industriales sobre los Fluvisoles, mediante la aprobación y aplicación de leyes que impidan su urbanización, así como políticas que reorienten el crecimiento de la ciudad hacia zonas con suelos de baja fertilidad y libres de inundaciones.

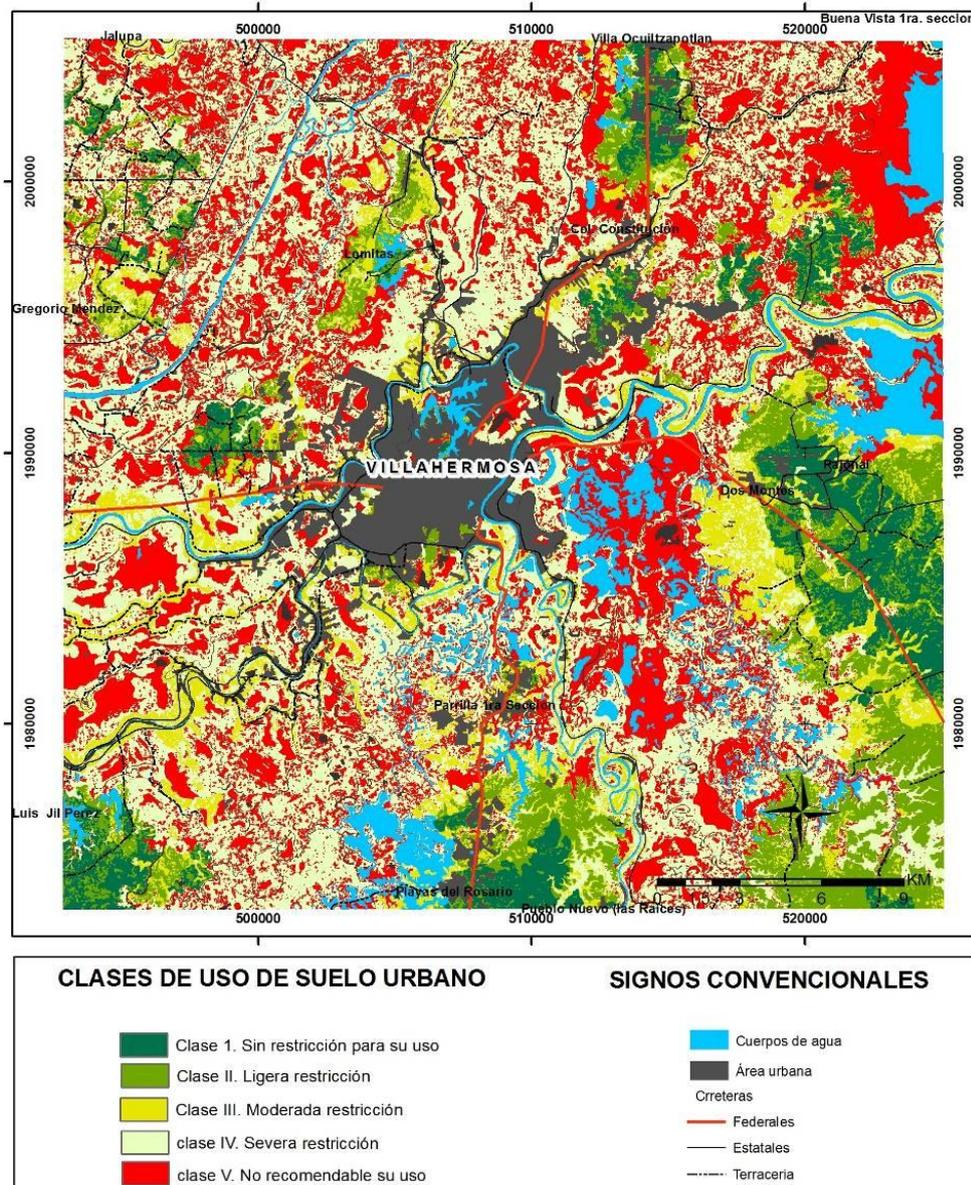


Figura 3.7. Mapa de de clases de capacidad de uso del suelo urbano de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

En las terrazas, importantes extensiones de tierras de clase III coinciden con lomeríos planos a convexos y están limitados por inundaciones ocasionales y pendientes menores de 2%. Los

suelos varían de Gleysoles a Alisoles Gléyicos y su uso es de pastizales. En conjunto esta clase ocupa 9 685.8 ha (9.4% del área).

Clase IV. Severa restricción. Áreas que se restringen porque se inundan con frecuencia o cada año. Son terrenos planos con pendientes menores a 1%, suelos Gleysoles con problemas de drenaje por manto freático a menos de 25 cm de profundidad, fértiles, arcillosos y con uso de pastizales, vegetación secundaria de acahuales, tintales o cultivos perennes. Se distribuyen en su mayoría en la llanura aluvial baja y los diques de transición de la planicie aluvial, y en los valles erosivos y acumulativos de las terrazas. Representan la clase más extensa con 37 069.7 ha (35.9% del área).

Clase V. No se recomienda su uso. Terrenos que permanecen inundados más de tres meses cada año, en relieves con pendientes menores a 1%, agrupan a las cubetas de decantación, terrazas bajas a cóncavas, cauces inactivos y algunos valles acumulativos; los suelos son Gleysoles e Histosoles, tienen alta fertilidad, muy alto contenido de materia orgánica, y el uso es de vegetación hidrófita; ocupan 26 880.2 ha (26% del área). Estas tierras representan una gran oportunidad para su aprovechamiento como prestadores de servicios ambientales y explotar el potencial acuícola que poseen. Al respecto Bolund y Hunhammar (1999) y Esmith y Romero (2009), afirman que estos sistemas en el interior de una ciudad o cercanos a ella adquieren mayor importancia ya que benefician directa e indirectamente a los habitantes. Algunos servicios que ofrecen a los habitantes urbanos son la purificación del aire, regulación micro climática, reducción de ruido, drenaje de aguas de lluvias, tratamiento de aguas residuales y oferta de espacios recreativos (Karlen *et al.*, 1997; Bolund y Hunhammar, 1999; Cram *et al.*, 2007).

3.4. CONCLUSIONES

Fue posible evaluar cinco clases de capacidad de uso del suelo urbano tomando como caso de estudio la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco, aplicando un modelo matemático en un sistema de información geográfica, con base en información cartográfica detallada de los factores inundación, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo.

La tierra de clase I considerada sin restricción para uso del suelo urbano ocupa el 5% del territorio, la clase II con ligeras restricciones agrupa el 8.7%, la clase III con moderadas restricciones cubre el 9.4%, la clase IV con severas limitaciones ocupa la mayor superficie

con 35.9%, y la clase V no urbanizable ocupa el 26%. Las áreas urbanas y cuerpos de agua cubren el 14.5% restante.

Las tierras de clase I y II son aptas para el uso del suelo urbano y se ubicaron en las terrazas con lomeríos ligeramente a moderadamente ondulados, y en conjunto representan el 13.7% de la zona periurbana de Villahermosa. Las de clase I no presentan restricciones para el uso urbano y las de clase II tienen restricciones por inundaciones raras o extraordinarias.

Las tierras de clases III a V representan el 71.3% del área y no son adecuadas para urbanizarse por tener moderadas a severas restricciones por inundaciones, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo.

3.5. RECOMENDACIONES

La superficie de la clase I de capacidad de uso del suelo urbano se recomienda para ser urbanizada en futuros asentamientos humanos en la periferia de Villahermosa.

En las áreas de Clase II de capacidad de uso del suelo urbano, pueden desarrollarse asentamientos humanos protegidos con obras hidráulicas ante el impacto por inundaciones extraordinarias.

No se recomienda la urbanización de las tierras de clase III, IV y V de capacidad de uso del suelo urbano por el riesgo permanente de las inundaciones, por lo tanto se debe optimizar su uso agropecuario, forestal y acuícola. Áreas importantes pueden ser desarrolladas como reservas ecológicas, parques, zonas ecoturísticas y para proyectos dulceacuícolas.

En las zonas de clase IV y V no urbanizables que rodean la ciudad de Villahermosa, se recomienda que las instancias federales, estatales y municipales correspondientes, generen y apliquen la normatividad adecuada para prohibir su uso urbano ya que representan una oportunidad para aprovechar los diversos servicios ambientales que poseen.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

Diario Oficial. 2002. NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT).

Cadiñenos, J. A., Meaza, G.. 1998. Bases para una Biogeografía aplicada: criterios y sistemas de valoración de la vegetación. Geofoma Ediciones. Logroño, España.

- Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., Carmona, E. 2007. Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas* 66: 81-104.
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Galindo-Alcántara, A., Ruiz-Acosta S., Morales, H. A., Gómez, C. C., Salcedo M. M., Aguilar, A. M., Valencia, M. J. y Rodríguez, C. M. 2009. Atlas de Riesgos del Municipio de Centro, Tabasco 2009. (1ª ed.). México: Ayuntamiento Municipal de Centro, Tabasco y Secretaría de Desarrollo Social.
- García, M. P., Pérez, G. M. E. 2011. Sellado de fluvisoles en la Comunidad de Madrid. Análisis a partir de imágenes landsat. *Anales de Geografía*. 31(2): 125-137
- Bolund, P. y Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29: 293-305.
- Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). 2007. Estado de la población mundial 2007. Liberar el potencial del crecimiento urbano. Capítulo 5. http://www.unfpa.org/swp/2007/spanish/chapter_5/index.html. (Consultado del 20 de febrero de 2012).
- Hicks, R. W., and Hird C. 2007. Soils and urban land use in: soils their properties and management. pp 394–405. In: Charman P.E.V. y B.W. Murphy. (ed.). 2007. Oxford University Press. Third edition. Hong Kong.
- 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, Mor.
- INEGI. 1984. Fotografías aéreas blanco y negro de la ciudad de Villahermosa Tabasco, Escala 1: 75 000.
- INEGI. 2000. Fotografías aéreas blanco y negro de la ciudad de Villahermosa Tabasco, Escala 1: 75 000.
- INEGI. 2005. Cuadernos municipales del estado de Tabasco. Vigésima segunda edición. Aguascalientes, Aguascalientes.
- INEGI. 2008. Ortofotomapas escala 1:15000. Gobierno del estado de Tabasco.
- IUSS Grupo de trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización traducida al español por Mabel Susana Pazos. Informe sobre Recursos Mundiales de suelos . FAO. Roma Italia.

- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G. Harris., R. F., Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation . *Soil Sci* 61: 4–10.
- Ortiz, P. y Benítez, J. A. 1996. Elementos Teóricos para el Entendimiento de los Problemas de Impacto Ambiental en Planicies Deltáicas: la región de Tabasco y Campeche. pp 483-503. In: Botello, A.V., J.L. Rojas-Galaviz, J. Benítez y D. Zárate-Lomelí. (ed). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX, Serie Científica 5 Universidad Autónoma de Campeche.
- Ortiz-Pérez, M. A., Sibe, C., y Cram, S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. pp 305-321. In: Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (ed.) Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología de la UNAM-CONABIO, México.
- Olcina, C, J. 2004. Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, Asociación de Geógrafos Españoles 37: 49-84.
- Pereyra, F., Boujon, P., Gómez, A., Ello, N., Tobío M. I., y Lapidó., O. 2010. Estudio geocientífico aplicado a la evaluación de la aptitud para la urbanización en la cuenca carbonífera de río turbio, Santa Cruz. *Asociación Geológica Argentina* 66 (4): 505-519.
- Palma-López. D. J., Cisneros, J. D., Moreno, C. E. y Rincón-Ramírez, J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Porta, J., López-Acevedo M., C. Roquero L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid España.
- Porta, J. López-Acevedo M. 2005. Agenda de campo de suelos. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa.
- SAOP (Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas), SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social), UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2011. Programa de desarrollo urbano de la zona metropolitana de la Ciudad de Villahermosa Tabasco. http://www.saop.gob.mx/saop/publicaciones-estudios-oyectos/estudios/PDUZM/programa/PDUZM_CD_VHSA_FINAL.pdf. (Consultado 15 de enero de 2012).
- SGM (Servicio Geológico Mexicano). 2007. Carta geológica de la República Mexicana escala 1: 2, 000,000. Sexta edición. Pachuca, Hidalgo.

- Smith, P.; Romero, H. 2009. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Geográfica Norte Grande* 43: 115-120
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service US. Department of Agriculture Handbook.
- Steiner F., L. McSherry, J. Cohen. 2000. Land suitability analysis for the upper Gila River watershed. *Landscape Urban Plan* 50:199–214
- Svoray, T. P. Bar, T. Bannet. 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.
- Vaquera, H. H., Agrirre, S. A. I. 2012. Modelación espacio-temporal de las precipitaciones máximas y estimación de riegos de inundación en el estado de Tabasco. pp 1-27. In: Martínez, R. R., Ramírez VB, Rojo, M. G. E. (ed.). Recursos naturales y contaminación ambiental. Universidad Autónoma Indígena de México.
- West, R.C., Psuty, N. y Thom B. G. 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el Sureste de México. Instituto de Cultura de Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F., México.
- Yang, X., J. M. Gray, G. A. Chapman, M. A. Young. 2008. Soil landscape constraint mapping for coastal land use planning using geographic information system. *J Coast Conserv* 11: 143–151.
- Zavala, C.J. 1988. Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco, casos de estudio. INIREB y Gobierno del Estado de Tabasco. México, D.F.
- Zavala C. J., O. Castillo A., A. I. Ortiz C., Palma-López, D. J., Rincón-Ramírez, J. A., Moreno, C E., Salgado, G. S. 2006. Bases Geográficas digital de suelos urbanos de la ciudad de Cárdenas, Comalcalco, Huimanguillo, Macuspana, Paraíso, Teapa, Tenosique y Villahermosa. H. Cárdenas Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas. Informe Final.
- Zavala C. J., O. Castillo A., A. I. Ortiz C., Palma-López, D. J., Juárez, L. J. F., Salgado-García, S., Rincón-Ramírez, J. A., Moreno, C E., Ramos, R. R. 2009. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco, con base en suelo, uso actual y vegetación. 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, Tabasco, México

Zavala C. J., Castillo A. O., Ortiz P. M. A., Guerrero P. A., Córdova A. V., y Palma-López, D. J. 2011. Geomorfología, suelo, uso del suelo y capacidad de uso rural y urbano en subcuencas y zona periurbana de Villahermosa, Tabasco. Colegio de Postgraduados, FOMIX Tabasco, Red Académica Sobre Desastres en Tabasco. H. Cárdenas.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES GENERALES

Considerando los objetivos y las hipótesis, y con base en los resultados de esta investigación, se establecen las siguientes conclusiones generales:

Utilizando factores y variables sobre inundación relieve, pendiente, suelo y uso del suelo, se generó un modelo matemático que permite evaluar en línea a través de un simulador web la capacidad de uso del suelo urbano de tierras en planicies del Sureste de México. Cualquier persona con acceso a internet y conocimientos básicos de su terreno puede determinar de forma rápida si existe o no restricción para el uso del suelo urbano. El simulador está disponible en: http://forio.com/simulate/socram_19_82/usuwp.

La generación de cartografía detallada de los factores ambientales, la aplicación del modelo matemático y la evaluación mediante el simulador web, permitió evaluar la capacidad de uso del suelo urbano del entorno de la ciudad de Villahermosa, Tabasco (103 285.6 ha). Se encontró que las tierras de clase I y II aptas para el uso del suelo urbano se ubicaron en las terrazas con lomeríos ligeramente a moderadamente ondulados, y en conjunto representan el 13.7% del área; no obstante, las de clase II deben protegerse ante el posible impacto de inundaciones extraordinarias. Las tierras de clases III a V con moderadas a severas restricciones para uso del suelo urbano por inundaciones, relieve, pendiente, suelo y uso del suelo, representan el 71.3% del área.

4.2. RECOMENDACIONES

El simulador web para evaluar la capacidad de uso del suelo urbano puede ser utilizado por instituciones públicas y de investigación, y profesionistas enfocados a la planeación, diseño y desarrollo de centros urbanos, industriales y ecoturísticos.

Para la aplicación de esta herramienta es necesario contar con cartografía confiable y a la escala adecuada de los factores ambientales.

Se recomienda orientar el crecimiento urbano de la zona metropolitana de Villahermosa hacia las zonas de clase I y II por capacidad de uso del suelo urbano, como las terrazas ligeramente a moderadamente onduladas; las zonas de clase II deberán protegerse de inundaciones raras o extraordinarias.

Las instituciones responsables de la planeación de los asentamientos urbanos deberán generar la normatividad que prohíba el uso del suelo urbano en tierras de clase III, IV y V de la zona periurbana de Villahermosa, por la exposición a restricciones ambientales, destacando las

inundaciones frecuentes. Optimizar el potencial de estas tierras mediante usos compatibles agrícolas, pecuarios, forestales y acuícolas, y valorar los diversos servicios ambientales que ofrecen a los habitantes de la ciudad.

CAPITULO. V. ANEXOS

ANEXO 1. MODELO UTILIZADO EN EL MODULO RATER CALCULATOR DE GRASS, PARA GENERAR EL MAPA DE ICUSU.

$$\begin{aligned}
 ICUSU1 = & ((\text{if}(inundacion@PERMANENT > 0 \ \&\& \text{inundacion@PERMANENT} < 2, 1, \text{if}(\\
 & inundacion@PERMANENT > 1 \ \&\& \text{inundacion@PERMANENT} < 3, .75, \text{if}(inundacion@PERMANENT} > 2 \ \&\& \\
 & inundacion@PERMANENT < 4, .5, \text{if}(inundacion@PERMANENT} > 3 \ \&\& \text{inundacion@PERMANENT} < 5, .25, \\
 & \text{if}(inundacion@PERMANENT} > 4 \ \&\& \text{inundacion@PERMANENT} \leq 10, 0))))) * .2) + ((\text{if}(\\
 & uso@PERMANENT > 0 \ \&\& uso@PERMANENT < 2, 1, \text{if}(uso@PERMANENT} > 1 \ \&\& uso@PERMANENT < 3, \\
 & .75, \text{if}(uso@PERMANENT} > 2 \ \&\& uso@PERMANENT < 4, .5, \text{if}(uso@PERMANENT} > 3 \ \&\& \\
 & uso@PERMANENT < 5, .25, \text{if}(uso@PERMANENT} > 4 \ \&\& uso@PERMANENT \leq 10, 0))))) * .2) + ((\text{if}(\\
 & suelo@PERMANENT > 0 \ \&\& suelo@PERMANENT < 2, 1, \text{if}(suelo@PERMANENT} > 1 \ \&\& \\
 & suelo@PERMANENT < 3, .75, \text{if}(suelo@PERMANENT} > 2 \ \&\& suelo@PERMANENT < 4, .5, \text{if}(\\
 & suelo@PERMANENT > 3 \ \&\& suelo@PERMANENT < 5, .25, \text{if}(suelo@PERMANENT} > 4 \ \&\& \\
 & suelo@PERMANENT \leq 10, 0))))) * .2) + ((\text{if}(slope1@PERMANENT} > 0 \ \&\& slope1@PERMANENT < 2, \\
 & 1, \text{if}(slope1@PERMANENT} > 1 \ \&\& slope1@PERMANENT < 3, .75, \text{if}(slope1@PERMANENT} > 2 \ \&\& \\
 & slope1@PERMANENT < 4, .5, \text{if}(slope1@PERMANENT} > 3 \ \&\& slope1@PERMANENT < 5, .25, \text{if}(\\
 & slope1@PERMANENT} > 4 \ \&\& slope1@PERMANENT \leq 10, 0))))) * .2) + ((\text{if}(relieve@PERMANENT} > 0 \\
 & \ \&\& relieve@PERMANENT < 2, 1, \text{if}(relieve@PERMANENT} > 1 \ \&\& relieve@PERMANENT < 3, .75, \text{if}(\\
 & relieve@PERMANENT} > 2 \ \&\& relieve@PERMANENT < 4, .5, \text{if}(relieve@PERMANENT} > 3 \ \&\& \\
 & relieve@PERMANENT < 5, .25, \text{if}(relieve@PERMANENT} > 4 \ \&\& relieve@PERMANENT \leq 10, 0))))) * .2 \\
 &)
 \end{aligned}$$

ANEXO 2. SUPERFICIES DE LOS FACTORES AMBIENTALES DE LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA, TABASCO.

Cuadro 1. Tipos de relieve de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Pendiente %	Región ecogeográfica	Relieve	Superficie	
			ha	%
0-3	Planicie aluvial	Cauce antiguo	1233.19	1.2
		Cubeta de decantación	16106.94	15.6
		Dique natural	6251.74	6.1
		Dique natural de transición	12442.39	12.0
		Llanura aluvial baja	23654.88	22.9
1-25	Terraza	Transición terraza a llanura aluvial	733.44	0.7
		Valle erosivo-acumulativo	1965.81	1.9
		Lomerío plano a cóncavo	9515.80	9.2
		Valle acumulativo	940.48	0.9
		Lomerío plano a convexo	11137.51	10.8
		Lomerío ligeramente ondulado	1963.01	1.9
		Lomerío moderadamente ondulado	3375.55	3.3
		Cimas o interfluvios	200.52	0.2
		Otros	Áreas urbanas	7356.80
	Cuerpos de agua	6 407.36	5.2	
Total			103 285.62	100

Cuadro 2. Clasificación de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

% de pendiente	superficie	
	ha	%
0-1	70421.8	68.2
1-2	15673.4	15.2
2-3	382.4	0.4
3-10	3578.0	3.5
10-20	662.8	0.6
20-30	673.1	0.7
AU+CA*	11893.9	11.5
Total	10328.4	100.0

*Área urbana + cuerpos de agua

Cuadro 3. Frecuencia de inundaciones por tipo de relieve en base a entrevistas a habitantes de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Relieves	n	Promedio			Superficie	
		Edad	% Inund	*Frc.	ha	%
Lomerío medio ondulado	17	49	0	1	9065.83	8.7
Lomerío plano-convexo	25	50	20	2	10917.97	1.5
valle erosivo-acumulativo	13	51	100	3	5744.58	5.6
Dique natural	20	48	90	3		
Dique natural de transición	12	56	100	4		
Llanura aluvial baja	10	54	100	4	45567.48	44.1
Lomerío plano-cóncavo	23	49	100	4		
Cubeta de decantación	8	56	100	5	17008.89	16.4
Otros	-	-	-	-	14980.87	14.5
Total	132	52			103285.62	100.0

*probabilidad de que se inunde en 100 años: 1= No se inunda, 2= De 1 a 5 veces, 3= De 5 a 50 veces, 4= > 50 veces y 5= Permanece inundado más de 3 meses cada año.

Cuadro 4. Unidades de suelo de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007)

subunidades	clave	Superficie	
		ha	%
Acrisol Cutánico	ACct	2289.1	2.2
Acrisol Cutánico Gléyico	ACctgl	1111.6	1.0
Acrisol Cutánico Gléyico Úmbrico	ACctglum	2862.1	2.7
Acrisol Cutánico Úmbrico	ACctum	1446.2	1.4
Acrisol Úmbrico	ACum	368.6	0.3
Acrisol Cutánico	ACct	377.6	0.3
Alisol Cutánico Gléyico	ALctgl	286.2	0.2
Alisol Cutánico Gléyico Úmbrico	ALctglum	1167.2	1.1
Alisol Cutánico Léptico	ALctle	59.8	0.0

Alisol Cutánico Úmbrico	ALctum	6085.7	5.8
Cambisol Háptico	CMha	752.5	0.7
Fluvisol Gléyico	FLgl	16744.9	16.2
Fluvisol Gléyico Mólico	FLglmo	193.1	0.1
Fluvisol Háptico	FLha	3581.5	3.4
Fluvisol Mólico	FLmo	964.5	0.9
Gleysol Álico	GLal	3116.7	3.0
Gleysol Álico Úmbrico	GLalum	911.5	0.8
Gleysol Háptico	GLha	26017.6	25.1
Gleysol Háptico+Fluvisol Gléyico	GLha+FLgl	2706.9	2.6
Gleysol Hístico	GLhi	2188.8	2.1
Gleysol Lúvico	GLlv	880.2	0.8
Gleysol Mólico	GLmo	8464.8	8.2
Histosol Fíbrico Rehico	HSfirh	24.3	0.0
Histosol Húmico Rehico	HShmrh	1821.4	1.7
Luvisol Cutánico	LVct	762.9	0.7
Luvisol Cutánico Gléyico	LVctgl	714.7	0.6
Lixisol Cutánico	LXct	255.1	0.2
Lixisol Cutánico Gléyico	LXctgl	700.7	0.6
Tecnosol Úrbico	TCub	35.6	0.03
Umbrisol Stágnico	UMst	76.5	0.07
Vertisol Gléyico	VRgl	1320.4	1.2
Área urbana	AU	7406.1	7.1
Cuerpo de agua	CA	7590.9	7.3
Total		103285.6	100.00

Cuadro 5. Uso del suelo y vegetación de la zona periurbana de Villahermosa, Tabasco.

Uso de suelo	Superficie	
	ha	%
Pastizal cultivado	54729	53.0
Acahual	10472	10.1
Tintal	3110	3.0
Selva mediana subperennifolia	155	0.2
Cultivos perennes+ huertos familiares+plantaciones forestales	1140	1.1
Matorral espinoso	1235	1.2
Vegetación hidrófita	8182	7.9
Cultivos anuales y pastizales	5372	5.2
Suelos desnudos	780	0.8
CA	5914	5.7
AU	12194	11.8
Total	103283	100.0

CA= Cuerpos de agua; AU= Áreas urbanas.

Cuadro 6. Clases de capacidad de uso del suelo urbano

Clases de uso urbano	Superficie	
	ha	%
I. sin restricción para su uso	26890.2	26.0
II. Ligera restricción	37072.2	35.9
III. moderada Restricción	9689.8	9.4
IV. Severa restricción	9013.4	8.7
V. No se recomienda el uso urbano	5630.0	5.5
Área urbana+ Cuerpos de agua	14989.7	14.5
Total	103285,4	100,0

ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS REPRESENTATIVOS DE LA ZONA PERIURBANA DE VILLAHERMOSA.

Perfil: 79. Tipo de suelo: Gleysol Háptico (Húmico, Dístico, Arcilloso) Descripción: Edgar Shirma Torres Fecha: 18 de mayo de 2011 Localidad: Rancharía Tierra Adentro Ubicación geográfica UTM : 15 Q 495745 , 2002864 Pendiente: < 1%	Relieve: cóncavo, cubeta de decantación Drenaje del sitio: receptor Drenaje del perfil: imperfectamente drenado Material parental: sedimentos aluviales del Cuaternario Holoceno Vegetación cultivada: grama amarga Vegetación nativa: tinto aislados Fauna: vacas, garza, caracol, chilera, chicharras	
--	---	---

Perfil 79	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo
	Ap 0-20	Transición media, horizontal; ligeramente húmedo; color gris oscuro (Gley 4/N); textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande, muy grande; consistencia en húmedo firme, en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación discontinuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los canales de raíces, de minerales arcillosos y FeO ₂ ; nódulos muy pocos, muy pequeños, de color rojo y pardo oscuro, elipsoides, blandos de FeO ₂ ; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces comunes, finas y delgadas.
	A2 20-44/53	Transición marcada, ondulada; húmedo; color gris oscuro (Gley 4/N); moteado de color pardo amarillento (10YR 5/8), pocas, finas, media, marcadas; textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina, media, grande, muy grande, y prismática angular, media, grande; consistencia en húmedo muy firme, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los canales de raíces, de minerales arcillosos y FeO ₂ ; nódulos frecuentes, muy pequeños, de color rojo y pardo oscuro, prismáticos subangular, esferoides, blandos de FeO ₂ ; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces pocas, finas y delgadas.
	C1 44/53-60	Transición media, horizontal; I húmedo; color gris (5Y 6/1); moteado de color pardo amarillento (10YR 5/8), comunes, finas, media, marcadas; textura migajón arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande, muy grande; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los canales de raíces, de FeO ₂ ; nódulos pocos, muy pequeños, de color pardo oscuro, elipsoides, blandos de FeO ₂ ; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras, delgadas.
	C2 60-100	Transición tenue, ondulada; húmedo; color gris oscuro (10YR 4/1); moteado de color pardo amarillento (10YR 5/8), muchas, finas, marcadas; textura migajón arenoso; muy pocas piedras, de tamaño grava, de forma subangular y redonda; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande, muy grande; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados y moderadamente espeso, dentro de agregados, confinados a los canales de raíces, de FeO ₂ ; nódulos pocos, muy pequeños, de color pardo oscuro, elipsoides, blandos de FeO ₂ ; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad lenta; raíces muy raras y delgadas.
	C3 100-150	Húmedo; color amarillo (10YR 7/8); moteado de color gris (7.5YR 6/1), prominentes, muchas, medias y grandes; textura arcilla media; muy pocas piedras, de tamaño grava, de forma subangular y redonda; estructura; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande, muy grande; consistencia en húmedo firme, en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, dentro y fuera de agregados, confinados a los canales de raíces, de FeO ₂ ; nódulos muy pocos, pequeños, de color pardo oscuro, esferoides, prismático subangular blandos de FeO ₂ ; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces muy raras y delgadas.

Propiedades químicas y físicas del perfil 79																	
Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)			%						
1	0-20	4.5	0.21	4.9	2.8	0.28	34.29	0.55	3.52	2.14	0.60	30.14	22	56	31	13	Arcilla
2	20-44/53	5.0	0.13	2.2	1.6	0.16	18.51	7.63	2.98	4.06	0.63	27.35	56	56	29	15	Arcilla
3	44/53-60	5.2	0.11	0.3	0.1	0.02	3.32	0.19	0.61	0.84	0.41	6.70	31	26	45	29	Franco
4	60-100	4.8	0.15	0.3	0.1	0.02	0.87	0.17	0.53	0.86	0.50	6.14	33	30	47	23	Franco arcilloso
5	100-150	4.2	0.20	0.3	0.1	0.04	0	0.24	0.75	1.58	0.35	11.16	26	42	39	19	Arcilla

Perfil: 103. Tipo de suelo: Fluvisol Háptico (Calcárico, Húmico, Dístico, Límico) Describió: Marcos Antonio Morales Fecha: 02 de junio de 2011 Localidad: Torno Largo 2ª. Sección, Centro, Tabasco Ubicación geográfica UTM: 15 Q 511629, 1979337 Pendiente: 1 % Relieve: plano, llanura aluvial alta		Drenaje del sitio: donador Drenaje del perfil: bien drenado Material parental: sedimentos aluviales del Cuaternario Holoceno Vegetación cultivada: huerto Familiar Vegetación nativa: macuilis, cundiamor, capulín Fauna: Hormigas, arañas y mariposas	
Perfil 103	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo	
	0-30	Transición media, horizontal; húmedo; color pardo (10YR 4/3); textura migajón arcilloso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande y muy grande; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo muy pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; fuerte reacción al HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares y vesiculares; permeabilidad moderada; raíces abundantes, finas, delgadas, medias; fauna lombrices y hormigas.	
	30-50	Transición media, horizontal; ligeramente húmedo; color pardo (10YR 3/3); textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande y muy grande; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo muy pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; muy fuerte reacción al HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares y vesiculares; permeabilidad moderada; raíces comunes, delgadas, gruesas; fauna lombrices larvas de escarabajos.	
	50-70	Transición media, horizontal; seco; color pardo amarillento (10YR 5/4); textura migajón arcillo limoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande y muy grande; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo friable, en muy húmedo muy pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; muy fuerte reacción al HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas, delgadas y medias; fauna lombrices.	
	70-85	Transición media, horizontal; seco; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4); textura migajón arcilloso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media y grande; consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo firme, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; muy fuerte reacción al HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces pocas, finas, delgadas.	
	58-115	Transición media, horizontal; seco; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4); textura migajón arenoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, grande; consistencia en seco blando, en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; muy fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces pocas, finas, delgadas.	
	115-150	Seco; color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4); motas de color rojo amarillento (5YR 5/6), tenues, muy pocas, muy finas; textura migajón arcilloso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media, y grande; consistencia en húmedo firme, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinado a los canales de raíces, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; muy fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas, delgadas.	

Propiedades químicas y físicas del perfil 103																	
Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P OI sen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%				(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)				%				
1	0-30	8.0	0.19	3.1	1.7	0.18	5.09	0.17	4.89	1.97	0.25	33.49	22	46	48	6	Arcilla limoso
2	30-50	7.9	0.17	2.9	1.7	0.20	2.47	0.10	0.56	1.64	0.26	31.82	8	42	54	4	Arcilla limoso
3	50-70	8.1	0.17	1.1	0.7	0.08	1.02	0.04	4.99	2.34	0.25	21.77	35	30	60	10	Franco arcillo-limoso
4	70-85	8.1	0.17	1.1	0.7	0.06	0.73	0	4.79	2.52	0.30	21.21		28	59	13	Franco arcillo-limoso
5	58-115	8.2	0.15	0.5	0.3	0.04	1.16	0.04	3.49	2.34	0.31	21.77	28	20	53	27	Franco limoso
6	115-150	8.1	0.16	1.1	0.7	0.07	0.58	0.07	8.18	2.47	0.48	29.31	38	40	55	5	Franco arcillo-limoso



Perfil: 58. Tipo de suelo: Alisol Cutánico, Umbrico (Hiperdistrico, Profundico, Arcilloso) Describió: Marcos A. Morales, Isabel Fecha: 14 de febrero de 2011 Localidad: Área natural protegida Yumká Centro, Tabasco. Propietario: parque estatal de Tabasco Ubicación geográfica UTM: 15 Q 520240, 1990276 Pendiente: 3 %	Relieve: convexo regular, lomerío alto Drenaje del sitio: donador Drenaje del perfil: imperfectamente drenado Material parental: areniscas y lutitas del terciario Mioceno y Cuaternario Pleistoceno Vegetación nativa: reserva de acahual alto perennifolio Fauna: Ardillas, venado, tapir, serpientes	
--	--	---

Perfil 58	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo
	A 0-30	Transición media y horizontal; ligeramente húmedo; color pardo muy oscuro (10YR 2/2); Textura migajón arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados dentro y fuera de agregados de naturaleza arcillosa; nódulos muy pocos, pequeños, de color rojo, prismáticos, aglomerado, de Fe; sin reacción el HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, finos, medianos, y gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces abundantes, muy finas, finas, medianas, y gruesas; fauna hormigas y lombrices.
	Bt1 30-48	Transición tenue y horizontal; ligeramente húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); moteado de color rojo (10R 4/8), tenue, pocas y finas; Textura migajón limoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados dentro y fuera de agregados de naturaleza arcillosa; nódulos muy pocos, pequeños, de color rojo, prismáticos, aglomerado, de Fe; sin reacción el HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, my finos, finos, medianos, grandes y gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas, delgadas y medianas, y gruesas.
	Bt2 48-86	Transición tenue y regular; húmedo; color rojo claro (2.5YR 6/8); moteado de color rojo (10R 4/8) marcada, comunes y finas; Textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados de naturaleza arcillosa y óxidos de Fe; sin reacción el HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, medianos, grandes y gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas, delgadas y medianas, y gruesas
	C1 86-150	Transición marcada y regular; húmedo; color amarillo (10YR 7/8); moteado de color rojo (2.5YR 4/8), marcada, grande, muchas; migajón arenoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados de naturaleza arcillosa y óxidos de Fe; sin reacción el HCl y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, my finos, finos, medianos, grandes y gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas, delgadas y medianas, y gruesas
	C2 150-175	Húmedo; color amarillo (10YR 8/8) moteado de color rojo (2.5YR 5/8), marcada, comunes, grandes; migajón limoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, espesos, gruesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe; sin reacción el HCl y al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, my finos, finos, medianos, grandes y gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas, delgadas.

Propiedades químicas y físicas del perfil 58

Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rgl. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)			%						
1	0-30	5.2	0.08	4.9	2.8	0.26	4.28	0.57	4.79	0.71	0.05	14.09	43	25	25	50	Migajón arcillo-arenoso
2	30-48	4.4	0.04	1.9	1.1	0.09	0.00	0.40	0.93	0.45	0.08	20.35	9	49	15	36	Arcilla
3	48-86	4.5	0.04	0.6	0.3	0.04	0	0.13	0.82	0.45	0.15	19.31	8	47	15	38	Arcilla
4	86-150	4.5	0.03	0.4	0.2	0.05	0.14	0.05	0.22	0.36	0.12	10.96	7	33	15	52	Migajón arcillo-arenoso
5	150-175	5.3	0.03	0.1	0.0	0.00	0.00	0.03	0.54	0.99	0.55	14.09	15	35	15	50	Arcillo arenoso

Perfil: 98. Tipo de suelo: Acrisol Cutánico Umbrico (Ferrico, Hiperdistrico, Profundico, Arcilloso) Describió: Edgar Shirma Torres Fecha: 08 de junio de 2011 Localidad: Estanzuela 1ª Sección, Centro, Tabasco Ubicación geográfica UTM: 15 Q 510002, 1974659 Pendiente: 4 %	Relieve: convexo, lomerío medio ondulado Drenaje del sitio: donador Drenaje del perfil: bien drenado Material parental: areniscas y lutitas del terciario Mioceno y Cuaternario Pleistoceno Vegetación cultivada: huerto familiar Vegetación nativa: macuilis, corozo, comecuelo, uvero, hoja de lata Fauna: vacas, peas, zanate, aves de corral, perro	
--	---	---

Perfil 98	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo
	Ap 0-25	Transición horizontal y marcada; seco; color pardo oscuro (10YR 3/3); textura migajón arcillo arenosos; ligeramente pedregoso de tamaño grava, y piedras pequeñas, redondas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular media y grande, granular fina y muy fina; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo firme, en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados y moderadamente espesos, dentro de agregados, confinados al os poros o canales de raíces de minerales arcillosos con FeO ₂ ; nódulos frecuentes, muy pequeños y pequeños, de color rojo, elipsoides, prismáticos subangular, duros de FeO ₂ ; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrogeno; poros numerosos muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares y vesiculares; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas, delgadas, medias y gruesas; fauna hormigas.
	Bt 25-49	Transición horizontal y media; seco; color rojo (2.5YR 4/8); textura arcilla; muy pedregoso de tamaño grava, y piedras pequeñas, redondas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo extremadamente firme, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados y moderadamente espesos, dentro de agregados, confinados al os poros o canales de raíces de minerales arcillosos con sílice y FeO ₂ ; nódulos frecuentes, muy pequeños y pequeños, de color rojo, elipsoides, prismáticos subangular, duros de FeO ₂ ; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrogeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares y vesiculares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas, delgadas, medias y gruesas; fauna hormigas.
	Bt2 49-74	Transición horizontal y tenue; ligeramente húmedo; color rojos curo (2.5YR 3/6); textura arcilla; pedregoso de tamaño grava, y piedras pequeñas, redondas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo extremadamente firme, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados y moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; nódulos pocos, muy pequeños y pequeños, de color rojo, elipsoides, prismáticos subangular, duros de FeO ₂ ; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrogeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas, delgadas, medias.
	Bt3 74-140	Ligeramente húmedo; color rojo (2.5YR 4/6); motas de color amarillo (10YR 7/8), abundantes y prominentes, medias y grandes; textura arcilla arenosa; ligeramente pedregoso de tamaño grava, y piedras pequeñas, redondas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina, media grande y muy grande; consistencia en húmedo extremadamente firme, en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados y moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, de minerales arcillosos con FeO ₂ ; nódulos abundantes, pequeños, de color rojo, elipsoides, prismáticos subangular, duros de FeO ₂ ; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrogeno; poros frecuentes, muy finos, finos, medianos, gruesos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras, finas y delgadas.

Propiedades químicas y físicas del perfil 8

Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)			%						
1	0-25	5.1	0.05	5.6	3.2	0.29	2.91	0.08	0.44	0.74	0.38	10.61	15	38	28	34	Franco arcilloso
2	25-49	5.4	0.02	2.3	1.3	0.06	0.15	0.02	0.12	0.25	0.40	12.75	5	57	16	24	Arcilla
3	49-74	5.4	0.02	1.0	0.5	0.04	0	0.01	0.07	0.03	0.51	15.54	3	65	16	14	Arcilla
4	74-140	5.4	0.02	0.2	0.1	0.00	0	0.01	0.07	0.08	0.48	26.24	2	70	12	18	Arcilla

Perfil: 86. Tipo de suelo: Histosol Fibrico, Rheico (Dístrico) Describió: Marcos A. Morales Fecha: 24 de mayo de 2011 Localidad: Ejido Lázaro Cárdenas 1ª Sección, Centro, Tabasco Ubicación geográfica UTM: 15 Q 499561, 19911147 Pendiente: - 1 %		Relieve: cóncavo, cubeta de decantación Drenaje del sitio: receptor Drenaje del perfil: muy pobremente drenado Material parental: palustre con depósitos aluviales Vegetación nativa: espadaños, helechos Fauna: hormigas y arañas	
Perfil 86	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo	
	0-50	Saturado; color pardo muy oscuro (10YR 2/2); material orgánico; nula reacción al HCl; nula reacción al peróxido e hidrogeno; raíces abundantes, finas y delgadas; fauna caracol.	
	50-100	Saturado; color gris oscuro (5Y 4/1); textura arcillosa; consistencia en muy húmedo pegajoso y ligeramente plástico; nula reacción al HCl; nula reacción al peróxido e hidrogeno; raíces raras y finas.	

Propiedades químicas y físicas del perfil 86																	
Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) (rel. 1:2)	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)			%						
1	0-50	3.8	2.82	75.2	43.6	1.56	3.82	0.47	10.03	0.06	0.28	76.76	14				Tiene demasiada MO
2	50-100	4.8	0.60	7.2	4.10	0.32	15.01	0.70	3.29	2.86	0.59	29.59	25	50	21	29	Arcilla



Perfil: 54. Suelo: Vertisol Gléyico (Mesotrófico, Pélico) Descripción: Edgar Shirma Torres Fecha: 26 de abril de 2011 Localidad: Coronel Traconis, Municipio de Centro, Tabasco Ubicación geográfica: 15 Q 523032, 1986413 Pendiente: <1 % Elevación: 24 msnm		Relieve: plano (valle acumulativo) Drenaje del sitio: receptor Drenaje del perfil: pobremente drenado Material parental: sedimentos aluviales del Cuaternario Holoceno Vegetación cultivada: pasto camalote Vegetación nativa: tinto, macuilis, uvero, zarza Fauna: vacas, aves, libélulas Observaciones: presenta caras de deslizamiento y grietas hasta los 75 cm de profundidad		
Perfil 54	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo		
	A _p (1-11)	Transición tenue y horizontal; seco; color gris muy oscuro (10YR 3/1); moteado de color amarillo rojizo (5 YR 6/8), marcadas, muchas y finas; textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular, media grande y muy grande y poca granular, fina; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo extremadamente firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; nula reacción al HCL y al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, muy finos finos y medianos, dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas.		
	A ₂ (11-23/47)	Transición media y ondulada; seco; color gris oscuro (10YR 4/1); moteado de color amarillo rojizo (5 YR 6/8), marcadas, muchas y finas; textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular fina, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo muy firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; nula reacción al HCL y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, muy finos, finos y medios, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas.		
	B _{g1} 23/47-58	Transición tenue y horizontal; seco; color gris oscuro (7.5YR 4/1), y amarillo parduzco (10YR 6/8); textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular fina, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo muy firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; nula reacción al HCL y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos y finos, medianos, caóticos dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces pocas, finas y delgadas.		
	B _{g2} 58-79	Transición media horizontal; seco; color gris oscuro (5Y 4/1); moteado de color amarillo parduzco (10YR 6/8), marcadas, muchas finas y medias; textura arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular fina, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo muy firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, discontinuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; nula reacción al HCL y al peróxido de hidrógeno; poros numerosos, micro, muy finos y finos, medianos, caóticos dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces pocas, finas y delgadas; fauna lombrices.		
	B _{g3} 79-96	Transición tenue y ondulada; seco; color gris oscuro rojizo (2.5YR 4/1); moteado de color amarillo rojizo (7.5 YR 6/8), marcadas, muchas y medias; textura limo; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; nula reacción al HCL y al peróxido de hidrógeno; poros frecuentes, micro, muy finos y finos, medianos, caóticos dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces pocas, finas y delgadas.		
	B _{g4} 96-148	seco; color gris rojizo (2.5YR 5/1) y rojo claro (2.5YR 6/6); textura arcilla limosa; pedregoso, prismática angular; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular fina, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo firme, y muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes formados por eluviación y planchados por presión, continuos, delgados y medianamente espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos de Fe y arcilla; ligera reacción al HCL y nula al peróxido de hidrógeno; frecuentes, micro, muy finos y finos, medianos, caóticos dentro y fuera de agregados; permeabilidad lenta; raíces pocas, finas y delgadas.		

Propiedades químicas y físicas del perfil 544

Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rgl. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)					%				
1	1-11	5.8	0.10	5.8	3.4	0.33	13.89	0.77	4.39	4.93	0.26	54.34	19	71	17	12	Arcilla
2	11-23/47	6.1	0.06	2.3	1.3	0.16	2.63	0.26	3.49	4.44	0.50	54.84	16	73	13	14	Arcilla
3	23/47-58	6.1	0.04	1.2	0.7	0.11	1.61	0.21	2.99	4.44	0.83	54.84	15	75	13	12	Arcilla
4	58-79	6.1	0.04	1.1	0.7	0.07	1.61	0.21	5.49	6.41	0.85	53.84	24	77	13	10	Arcilla
5	79-96	6.3	0.05	0.8	0.5	0.07	1.90	0.21	6.64	6.83	0.83	53.08	27	77	13	10	Arcilla
6	96-148	8.0	0.24	0.7	0.4	0.12	0.44	0.19	8.98	5.92	0.91	50.82	31	81	11	8	



Perfil: 72. Tipo de suelo: Umbrisol Satánico (Hiperdistrico) Describió: Edgar Shirma Torres Fecha: 13 de junio de 2011 Localidad: Ejido Lomitas, Nacajuca Tabasco. Ubicación geográfica: 15 Q 505097, 1996898 Pendiente: 2% Relieve: convexo a cóncavo, lomerío bajo plano a convexo, ligeramente ondulado	Drenaje del sitio: donador Drenaje del perfil: imperfectamente drenado Material parental: Areniscas y conglomerados del terciario Plioceno y Cuaternario Pleistoceno Vegetación cultivada: pasto estrella y alicia Vegetación nativa: guano redondo, tinto, macuilis, tinto, Fauna: vacas, caballos, garzas, zanates	
--	---	---

Perfil 72	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo
	0-18	Transición media, horizontal; seco; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); moteado de color amarillo parduzco (10YR 6/8), marcada, comunes, finas y medias; textura migajón arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo extremadamente firme, en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de raíces de óxido de Fe; muy pocos nódulos, pequeños, esféricos, duros, de color rojo óxido de Fe; sin reacción al HCl; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces extremadamente abundantes, finas delgadas y medias; fauna lombrices.
	18-46/62	Transición media, ondulada; seco; color pardo muy oscuro (10YR 2/2); moteado de color pardo amarillento oscuro (10YR 3/6), tenues, muchas finas; textura arena migajosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande y muy grande; consistencia en seco muy duro, en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados, moderadamente espesos, dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de raíces de óxido de Fe; pocos nódulos, muy pequeños, esféricos, duros, de color rojo y pardo amarillento de óxido de Fe; sin reacción al HCl; poros numerosos, micro, muy finos, finos, medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes finas delgadas y medias; fauna lombrices.
	46/62-81	Transición media, ondulada; seco; color pardo amarillento claro (10YR 6/4); moteado de color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2), marcada, comunes, finas y medias; textura arenoso; piedras de tamaño grava angulares y piedras pequeñas ovaladas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande y muy grande; consistencia en seco extremadamente duro, en húmedo friable, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los poros o canales de raíces de óxido de Fe; pocos nódulos, muy pequeños, esféricos, duros, de color rojo y pardo amarillento de óxido de Fe; sin reacción al HCl; poros numerosos, micro, muy finos, finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas, delgadas y medias.
	81-109	Transición media, horizontal; seco; color pardo muy pálido (10YR 7/4); moteado de color amarillo (2.5Y 8/8), prominentes, pocas, finas; textura arenoso; piedras de tamaño grava angulares y piedras pequeñas ovaladas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande y muy grande; consistencia en seco muy duro, en húmedo friable, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los poros o canales de raíces de óxido de Fe; nódulos abundantes, muy pequeños, prismáticos, subangulares, duros, de color rojo de óxido de Fe; sin reacción al HCl; poros numerosos, micro, muy finos, finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces pocas, finas, delgadas y medias.
	109-140	Ligeramente húmedo; color del moteado amarillo (10YR 7/8); moteado de color pardo grisáceo (10YR 5/2), marcada, muchas, finas y medias; arena migajosa; piedras de tamaño grava angulares y piedras pequeñas ovaladas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, media, grande y muy grande; consistencia en húmedo muy duro, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, dentro de agregados, confinados a los poros o canales de raíces de óxido de Fe; nódulos abundantes, muy pequeños, prismáticos, subangulares, duros, de color rojo de óxido de Fe; sin reacción al HCl; poros frecuente, micro, muy finos, finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces raras, finas, delgadas.

Propiedades químicas y físicas del perfil 72

Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) (gl. 1:2)	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)			(cmol kg ⁻¹)			%				
1	0-18	5.7	0.05	2.8	1.60	0.21	4.47	0.28	2.21	0	0.12	18.42	14	41	23	36	Arcilla
2	18-46/62	5.9	0.02	1.5	0.85	0.08	1.44	0.05	0.42	0	0.33	7.26	11	18	19	63	Franco arenoso
3	46/62-81	6.0	0.02	0.4	0.23	0.02	0.86	0.01	0.10	0	0.07	2.23	8	16	17	67	Franco arenoso
4	81-109	6.1	0.01	0.1	0.06	0.02	0.50	0.01	0.07	0	0.20	1.40	21	13	12	75	Franco arenoso
5	109-140	5.6	0.02	0.3	0.15	1.09	0.72	0	0.5	0	0.11	8.93	7	28	9	63	Franco arcillo-arenoso

Perfil: 62. Tipo de suelo: Histosol Hémico Rheico (Distrito) Describió: Marcos Antonio Morales y Edgar Shirma Torres Fecha: 26 de mayo de 2011 Localidad: Ejido Jomalero y Aparcero el Maluco Ubicación geográfica UTM: 15 Q 522092, 1999410 Pendiente: -1 %	Relieve: cóncavo, cubeta de decantación Drenaje del sitio: receptor Drenaje del perfil: muy pobremente drenado Material parental: sedimentos palustres del Cuaternario Holoceno Vegetación nativa: popal, pasto camalote, molinillo Fauna: hormigas, caracol, arañas, serpientes	
---	---	---

Perfil 62	Ho. (cm)	Descripción del perfil de suelo
	O1 0-30	Saturado; color pardo muy oscuro (10YR 2/2); material orgánico fibrico, consistencia en muy húmedo no pegajoso y no plástico; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrogeno; raíces abundantes, finas, delgadas y medias.
	O2 30-75	Saturado; color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); material orgánico hémico, consistencia en muy húmedo no pegajoso y no plástico; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrogeno; raíces comunes, finas, delgadas y medias.
	Cg 75-120	Saturado; color gris (5Y 6/1); textura arcilla fina; consistencia en muy húmedo muy pegajoso y muy plástico; sin reacción al HCl y al peróxido de hidrogeno; permeabilidad muy lenta, raíces muy raras, finas.

Ho.	Prof. (cm)	pH (H ₂ O) t. 1:2	CE (dS m ⁻¹)	MO	CO	N	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	PSB	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
				%			(mg kg ⁻¹)	(cmol kg ⁻¹)			%						
1	0-30	L	2.81	77.6	45	2.62	3.87	0.18	10.18	7.24	1.17	94.34	19	12	7	81	Franco arenoso
2	30-75	3.4	2.71	56.7	33	1.73	1.15	0.17	8.08	5.76	0.77	77.03	19	10	7	83	Arena migajoso
3	75-120	4.4	1.78	4.3	2.5	0.23	10.19	0.42	3.89	5.26	0.72	46.05	22	80	17	3	Arcilla