

SEP-INDAUTOR
REGISTRO PÚBLICO
03-2015-121715240300-01

HACIA UNA ESTRATEGIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EL TERRITORIO COSTERO DEL ESTADO DE YUCATÁN QUE ATIENDA LAS PRESIONES DE URBANIZACIÓN E INFRAESTRUCTURA SOBRE ZONAS CRÍTICAS, DESDE UNA PERSPECTIVA AMBIENTAL Y DE VULNERABILIDAD

Nirani Corona Romero
Juan Manuel Núñez Hernández
Alejandro Ernesto Mohar Ponce
Patricia Ocampo Thomason

Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" Centro Geo, A. C.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
ESTADO DE YUCATÁN
REGISTRO: 03-2015-121715240300-01
TÍTULO: HACIA UNA ESTRATEGIA DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EL TERRITORIO COSTERO DEL ESTADO DE YUCATÁN QUE ATIENDA LAS PRESIONES DE URBANIZACIÓN E INFRAESTRUCTURA SOBRE ZONAS CRÍTICAS, DESDE UNA PERSPECTIVA AMBIENTAL Y DE VULNERABILIDAD
TIPO TRÁMITE: REGISTRO DE OBRA
PRESENTACIÓN: HOJAS

Febrero, 2015

ÍNDICE

Tendencias espacio temporales de expansión de la Zona Metropolitana de Mérida.....	3
Área de estudio y métodos empleados.....	9
Modelo de crecimiento urbano SLEUTH	10
<i>Obtención de las capas de información</i>	12
Resultados y discusión	16
Los escenarios de crecimiento urbano y su afectación en los manglares.....	22
La propuesta de red ecológica.....	24
Hacia una estrategia de política pública territorial	27
Referencias.....	29

Introducción

La Ciudad de Mérida ha cobrado gran importancia en los últimos años debido a su dinámica de crecimiento, pues al presentar una alta concentración demográfica y económica, ha duplicado en tan sólo treinta años el área que abarcaba en 1970. Este incremento se ha dado sin ningún instrumento de planeación metropolitana, por lo que se ha expandido hacia otros municipios resultando en la denominada Zona Metropolitana de Mérida (en adelante ZMM; Iracheta y Bolio, 2012), lo que ha tenido como consecuencias el deterioro de los recursos naturales y la contaminación ambiental, entre otros, comprometiendo la sustentabilidad de la ciudad (González, 2009).

Debido a que los cambios en las condiciones ecológicas asociados con la urbanización, afectan los servicios ecosistémicos locales y globales y por ende, la habilidad del ecosistema para mantener a la población y su infraestructura, es decir, vuelven a la urbe altamente vulnerable a cualquier perturbación del ambiente al reducir su capacidad de resiliencia (Alberti y Marzluff, 2004), es importante enfocar esfuerzos en generar información que permita entender cómo los patrones espaciales de las actividades humanas y de los hábitats naturales, generan estos cambios para así crear estrategias que modifiquen estas dinámicas o las refuercen.

Por lo tanto, en las siguientes páginas se presenta un estudio sobre el crecimiento urbano de la ZMM y los municipios de Progreso y Hunucmá, con la finalidad de entender hacia dónde se ha dado y seguirá dándose en el futuro el avance de la mancha urbana, para así generar conocimiento que ayude a establecer políticas que ayuden a incrementar la capacidad de adaptación de la ZMM – Progreso - Hunucmá y sus pobladores, al estipular líneas de acción que lo regulen y permitan su desarrollo sin afectar regiones, que por su valor ambiental, deben ser conservadas.

Para lograrlo, se planteó como objetivo principal el encontrar las áreas que serán vulnerables al establecimiento de asentamientos humanos y por ende, a la pérdida de capital, principalmente de los manglares y otros humedales de Progreso y Hunucmá. Esto se hizo a partir de la modelación de dos escenarios, uno que considera instrumentos de ordenamiento ecológico y territorial y el otro que no contempla ningún factor de restricción.

Es de esta manera que fue posible observar la dinámica de crecimiento de la mancha urbana en la ZMM y en los municipios de Progreso y Hunucmá, detectándose que éste se ha dado principalmente hacia el N y SE. Los agentes implicados en este desarrollo no fueron abordados, por lo que sería interesante profundizar en ellos para encontrar respuestas que den luz para un mejor entendimiento que permita el desarrollo de políticas e instrumentos de planificación de ordenación del territorio que sean coherentes tanto territorial, como política y administrativamente hablando.

Con respecto al suelo ocupado, se encontró que es indispensable realizar estudios que profundicen no sólo sobre a dónde se dirigirá el crecimiento urbano, sino también sobre la identificación de las regiones que requerirán una ordenación efectiva para satisfacer tanto las necesidades alimentarias como de servicios ecosistémicos, ya que la seguridad alimentaria y ecológica de la ZMM se está viendo amenazada al haber un abandono y ocupación por otras actividades del suelo agrícola y ganadero y por la invasión de zonas de manglares.

También se cuantificó e identificó la superficie que abarcarán los asentamientos humanos al año 2030 y se confirmó que los instrumentos de ordenamiento territorial son la única barrera que podría contener el avance urbano sobre los manglares y otros humedales de los municipios de Progreso y Hunucmá, los cuales son importantes por los servicios ecosistémicos que brindan a los pobladores de estos y de la ZMM. Debido a que el modelo empleado para obtener los escenarios de crecimiento no considera variables socio-económicas y políticas que pueden influir en éste, es importante proponer nuevas estrategias que las contemplen y así robustecer y enriquecer lo aquí encontrado.

Por último se planteó una estrategia de gestión territorial basada en la conformación de una *red ecológica* en la zona costera, identificándose los corredores en el ecosistema donde se optimizan las conexiones entre las diferentes componentes tanto naturales como sociales, es decir aquellas áreas que son indispensables para su buen funcionamiento. Al ser cruzada con los escenarios de crecimiento, se encontró que algunos de estos corredores se verán afectados por los asentamientos humanos futuros, por lo que es indispensable profundizar sobre las relaciones naturaleza-sociedad para encontrar estrategias que modifiquen las tendencias aquí encontradas y se vuelva posible asegurar la permanencia de estas zonas.

Varios fueron los resultados obtenidos de este estudio pero también las preguntas de investigación que surgieron, que por su complejidad, deben ser abordadas desde diversas aristas, a partir de estudios multidisciplinarios donde colaboren diferentes instituciones que contribuyan desde su área de especialización, ya sea el territorio, la modelación, los sistemas productivos o naturales, entre otros, y así se pueda crear una política territorial que logre la cristalización de la *red ecológica* y por ende, el desarrollo sustentable de la Zona Metropolitana de Mérida – Progreso y Hunucmá.

Tendencias espacio temporales de expansión de la Zona Metropolitana de Mérida

La ciudad de Mérida ha sido el centro de la industria, de la actividad comercial y financiera y de la infraestructura de vivienda, salud y educación de Yucatán; a pesar de esto, su crecimiento había sido constante y ordenado hasta principios de la década de 1980, donde comienza a experimentar un incremento caracterizado por una expansión horizontal que se da a lo largo de las vías de acceso a la ciudad central, por lo que es a partir de esta fecha que comienza la formación de la zona metropolitana (Iracheta y Bolio, 2012; González, 2009).

De acuerdo con el gobierno federal, la ZMM abarca los municipios de Mérida, Kanasín, Umán, Conkal y Ucú, esto debido a la expansión de la frontera de la ciudad de Mérida, ya sea por la construcción de conjuntos habitacionales hacia sus cabeceras municipales o por la prestación de servicios (como pueden ser mano de obra o insumos agrícolas, entre otros) que las localidades cercanas de estos brindan a la ciudad (Iracheta y Bolio, 2012). A lo anterior se puede agregar la caída de la actividad agropecuaria y la crisis henequenera, las cuales propiciaron el acelerado aumento de la migración del campo a la ciudad, lo que resultó en la aparición de asentamientos irregulares principalmente hacia la periferia de la ciudad (González, 2009).

De esta manera, la ciudad de Mérida se ha transformado en una metrópoli difusa y fragmentada tanto por la multiplicación de conjuntos habitacionales, como por la construcción de parques maquiladores, de corredores de educación superior y comerciales, de equipamientos públicos y de complejos avícolas y pecuarios; dándose un abandono de la ciudad central con una desarticulación entre sus diferentes sectores al no otorgar servicios, equipamiento y oportunidades a los habitantes de las colonias y fraccionamientos que aparecieron (Iracheta y Bolio, 2012; González, 2009).

Es así que entre 1980 y 1990, se integraron a la ciudad 4,070 ha de tierras ejidales, de las cuales el 75% correspondieron a la zona norte y oriente, que al tener un alto progreso comercial, propiciaron se duplicara la superficie urbana. Para el año 2005 la ZMM tenía 1528 km² de extensión, ubicada en 11 localidades, 6 correspondientes al municipio de Mérida (Mérida, Cauceal, Chablekal, Cholul, Komchén y San José Tzal); dos a Umán (Umán e Itzincab) y una en los casos de Conkal (Conkal), Ucú (Ucú) y Kanasín (Kanasín), respectivamente. En el 2010 su superficie total se incrementa 0.9 km², por lo que se considera como parte de Mérida a Itzincab y se agrega Leona Vicario (Figura 1; SDS *et al.*, 2010; SDS *et al.*, 2007).

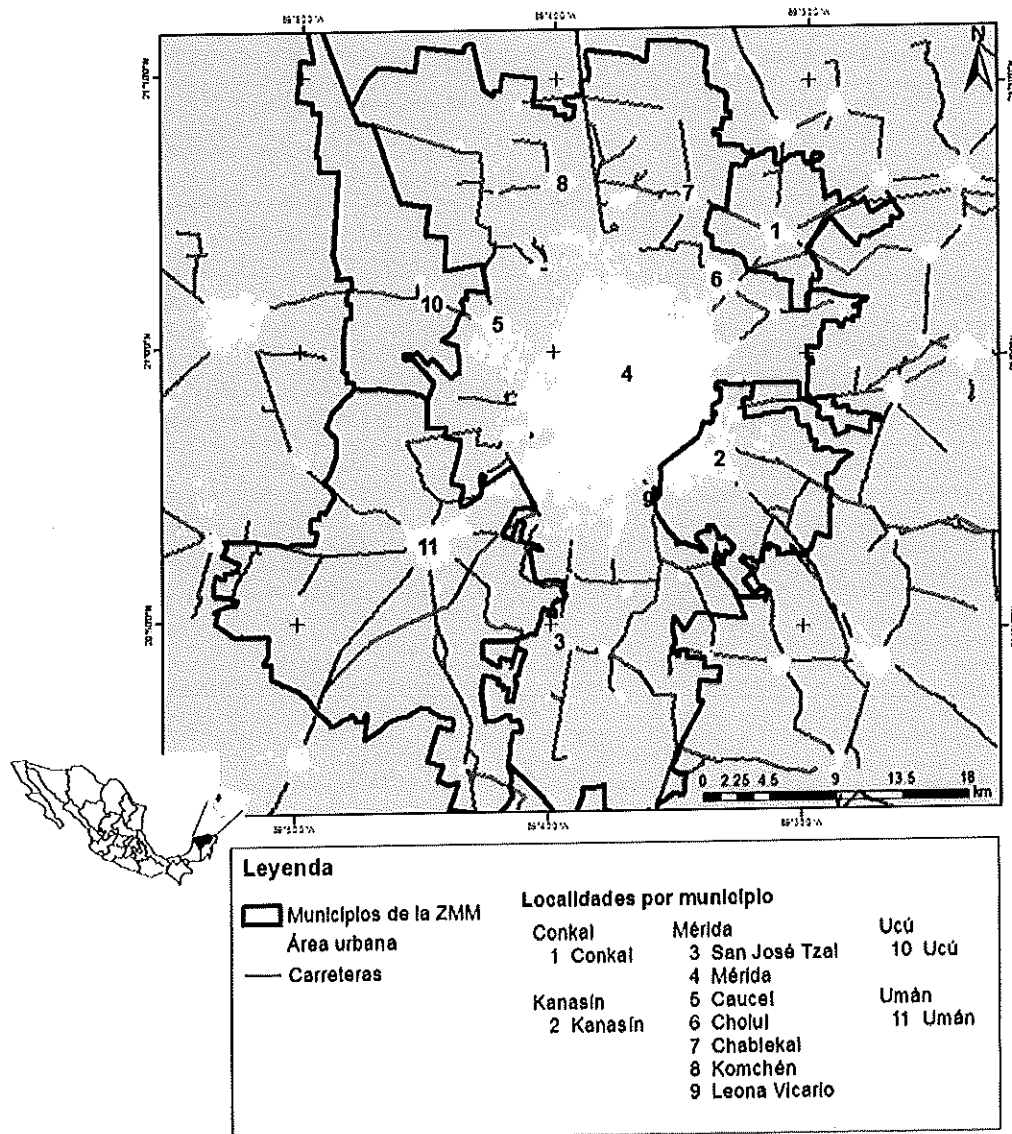


Figura 1. Localidades de la ZMM. Fuente: elaboración propia a partir de SDS *et al.*, (2010) y SDS *et al.*, (2007).

Las ciudades pueden ser vistas como un ecosistema heterótrofo dependiente de grandes entradas de energía y materiales y de su capacidad para absorber las emisiones y residuos, por lo que requieren importar servicios ecosistémicos producidos en las regiones aledañas o muy lejanas para poder subsistir (Alberti, 2005; Alberti y Marzluff, 2004). Esto las vuelve sumamente vulnerables, ya que una consecuencia de su crecimiento es el cambio de un ecosistema de cobertura natural bien conectada, a uno conformado por un paisaje altamente fragmentado, cuyas capacidades ecológicas que generan dichos servicios, se pierden o degradan, volviéndolos incapaces de sostener las funciones humanas.

Tal es el caso de la ZMM, cuyo crecimiento y las actividades económicas derivadas de éste, han modificado la cobertura vegetal tanto de las zonas aledañas, al haber un cambio de vegetación primaria y secundaria por la transformación de tierras a agricultura y pastizales (Figura 2), como de las demarcaciones vecinas y que son ajenas a ella. Como ejemplo se puede mencionar a Progreso, ya que su cercanía con Mérida ha propiciado la formación de un corredor que concentra el 30% de los flujos viales de toda la ZMM al funcionar como un polo de concentración y distribución financiera y mercantil.

También es importante mencionar que este puerto y sus vecinos (Chicxulubm Chelem y Chuburná) son destinos vacacionales y recreativos frecuentemente visitados por los habitantes de Mérida (Iracheta y Bolio, 2012).

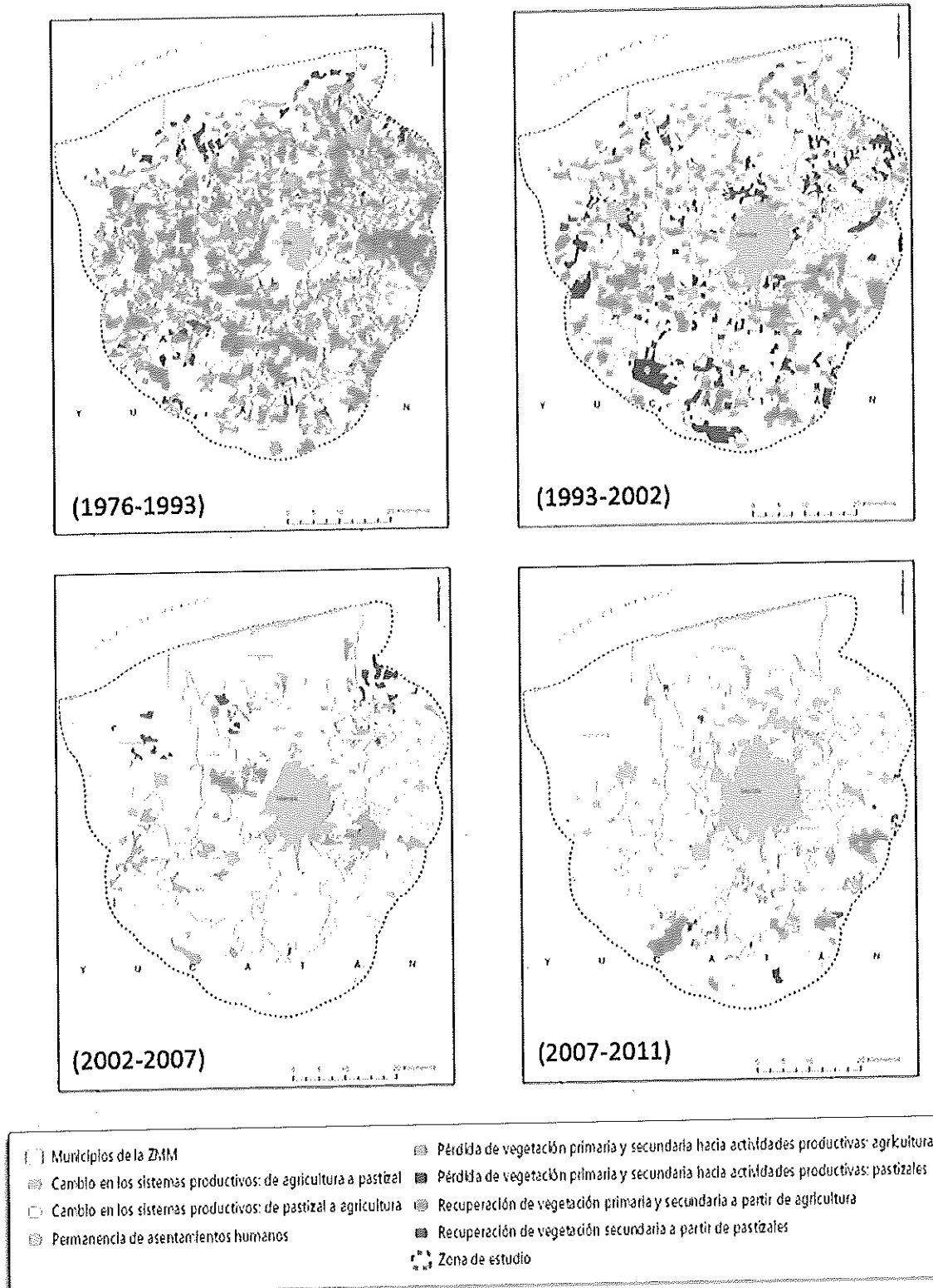


Figura 2. Procesos de cambio de uso de suelo que se han dado en la ZMM de 1976 a 2011. Fuente: elaboró Silvestre Zepeda a partir de las series de Vegetación y uso de suelo del INEGI (1976, 1993, 2003, 2007 y 2011).

Esta interacción entre Progreso y la ZMM ha dado como resultado una fuerte y elevada demanda de lotes que se encuentran generalmente frente al mar, la cual ha propiciado el encarecimiento de los terrenos volviéndolos inaccesibles para la mayoría de la población, por lo que termina asentándose de manera desordenada en la periferia de humedales y lagunas. Esta dinámica ha ocasionado la desaparición de ecosistemas lagunares y costeros al invadirse regiones ocupadas por manglares y otras comunidades vegetales, afectando la hidrología local al bloquear el libre flujo de agua y cerrar manantiales de agua dulce, por lo que la biodiversidad de la región se está viendo fuertemente amenazada por el crecimiento urbano (Dickinson *et al.*, 2006, figura 3).

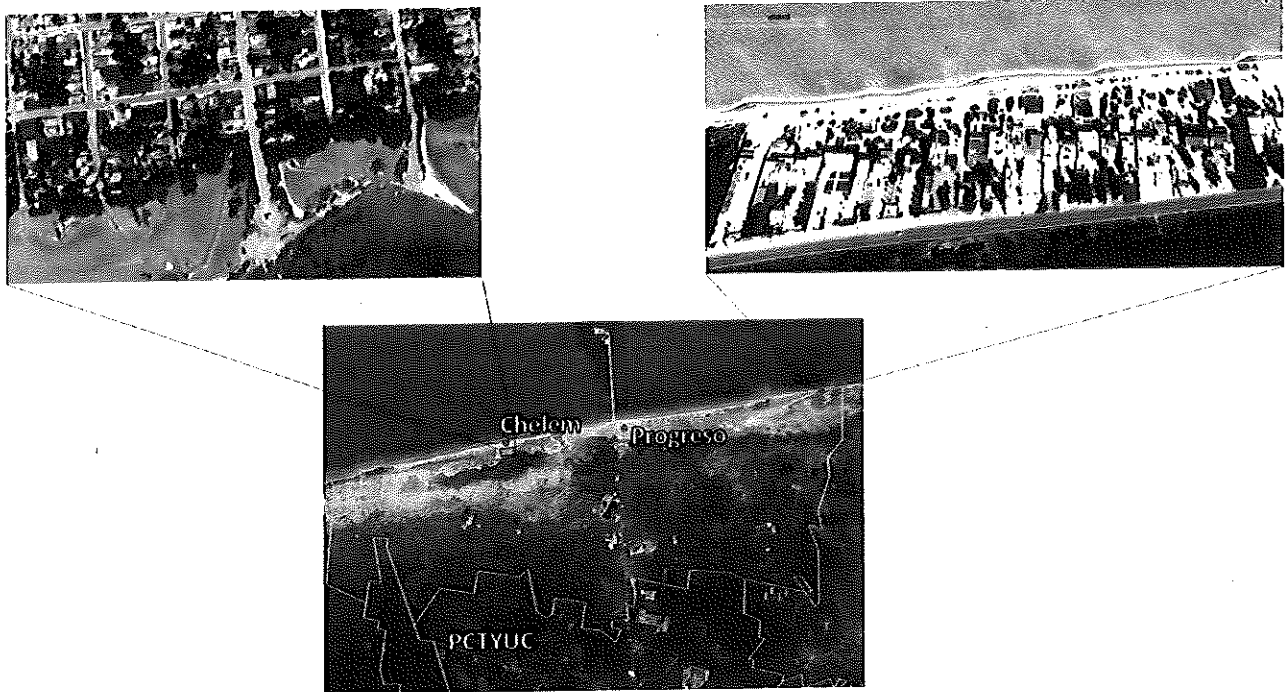


Figura 3. Asentamientos en el municipio de Progreso, el de la derecha indica aquellos que se han dado a orillas de la laguna y el de la izquierda a la orilla de la playa. Fuente: elaboración propia con imágenes de Google Earth.

Es de esta manera que de 1981 a 2010, los manglares de Progreso han perdido una superficie de 1766 ha, mostrando una distribución fragmentada con una conectividad de baja a muy baja. También los de Hunucmá se han visto afectados aunque en menor proporción, al tener un detrimento de 643 ha, presentando parches mediana y altamente conectados (CONABIO, 2013a, b y c; Figura 4).

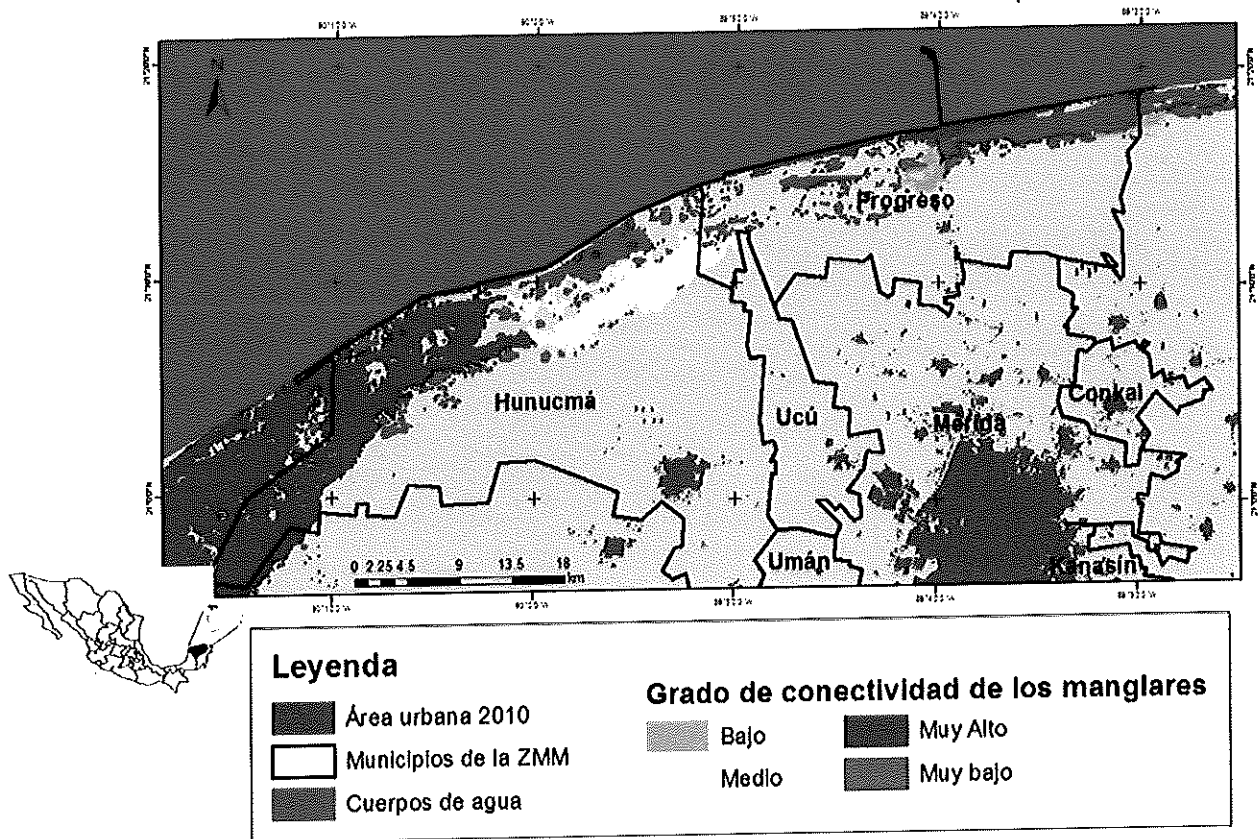


Figura 4. Grado de conectividad de los manglares de Progreso y Hunucmá al año 2010. Elaboración propia a partir de la cartografía de la CONABIO (2013).

Lo anterior es de tomarse en consideración ya que muchos pobladores de la región dependen de este ecosistema para su supervivencia, pues es de los manglares de donde obtienen el caracol, cangrejo y pescado y en menor proporción, sal y camarones para vender y así mantener a sus familias; también está el uso de madera ya sea para la construcción, como combustible o para producción de carbón. Además es importante mencionar los servicios de recreación, hábitat para diferentes especies, protección ante fenómenos climáticos extremos (huracanes), filtración de agua, entre otros que ofrecen, los cuales no sólo impactan a nivel local sino regional (Smardon, 2006; Kaplowitz, 2001), pues Mérida y su zona metropolitana dependen de estos para su supervivencia, ya sea por la captación de agua o por la barrera que significan para la contención de inundaciones (Figura 5).



Figura 5. Diferentes servicios ecosistémicos que brindan los manglares.

Por estas razones, es importante crear información que permita generar planes de desarrollo para la región que asegure la permanencia de estos ecosistemas y el bienestar tanto económico como de salud de sus pobladores.

Una forma de hacerlo es mediante modelos de crecimiento urbano, pues mediante estos, es posible encontrar áreas susceptibles al establecimiento de asentamientos humanos y a la pérdida de recursos naturales, haciendo factible la generación de instrumentos que regulen las dinámicas de estas zonas y así elaborar estrategias que las modifiquen o refuercen. Por lo tanto, en el presente proyecto se elaboraron diversas proyecciones de crecimiento urbano al año 2030 de la ZMM, mediante el establecimiento de escenarios que consideran diferentes instrumentos de ordenamiento territorial, para así medir sus consecuencias en el capital natural, principalmente en los manglares de la zona de Progreso y Hunucmá. Dicha información podrá ser usada entonces para establecer líneas de acción que ayuden a incrementar la capacidad de adaptación de la ZMM – Progreso - Hunucmá y sus pobladores.

Área de estudio y métodos empleados

En este estudio se decide contemplar como parte de la ZMM a los municipios de Progreso y Hunucmá, el primero debido a las relaciones económicas y sociales que existen entre el puerto y Mérida y el segundo, porque se quiere medir el impacto que puede llegar a tener el Parque Científico Tecnológico de Yucatán (PCTYUC) en el crecimiento urbano de esta región. Es así que el área a tratar queda conformada por los municipios de Mérida, Ucu, Conkal, Umán, Kanasín, Progreso y Hunucmá. A esta superficie se le agregó un buffer de 5 km para incorporar el efecto del crecimiento de afuera en la ZMM. Una vez generado el buffer se dividió en dos áreas, una denominada zona Norte y otra llamada zona Sur, esto con la finalidad de generar modelos con información fina y así representar de la mejor manera posible el fenómeno. (Figura 6).

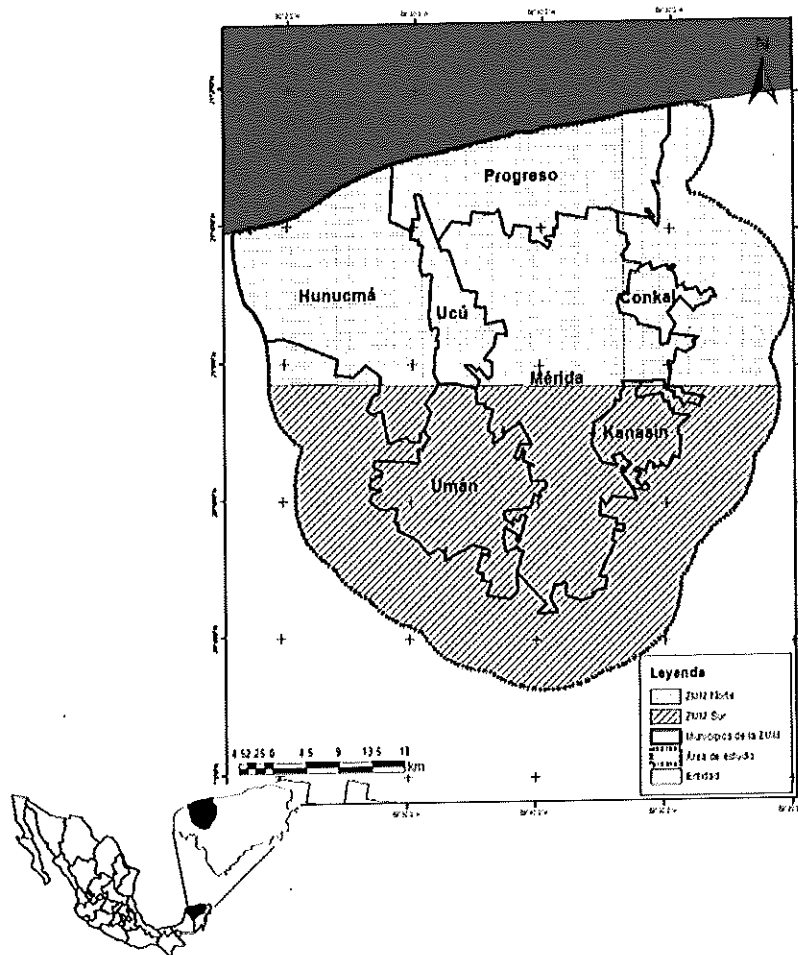


Figura 6. Área de estudio.

Modelo de crecimiento urbano SLEUTH

El modelo de crecimiento urbano empleado se denomina SLEUTH, se decidió implementar éste debido a que es de código abierto, ha sido usado en otras partes del mundo y permite comparar diferentes condiciones de crecimiento.

Fue creado en 1997 por Keith C. Clarke en la Universidad de Santa Bárbara, California y simula crecimiento urbano a partir de autómatas celulares, por lo que requiere datos geográficos- espaciales históricos en arreglo matricial, siendo estos datos los que le dan su nombre, ya que para su desarrollo se requiere: 1 capa de pendiente (Slope), pueden o no emplearse cuatro de cobertura y uso del suelo (Land cover), una de exclusión (Exclusion); cuatro de urbanización (Urbanization), dos de vías de transporte (Transportation) y una de sombreado (Hillshade), todas ellas en valores especificados por el modelo (Clarke *et al.*, 1997; Figura 7).

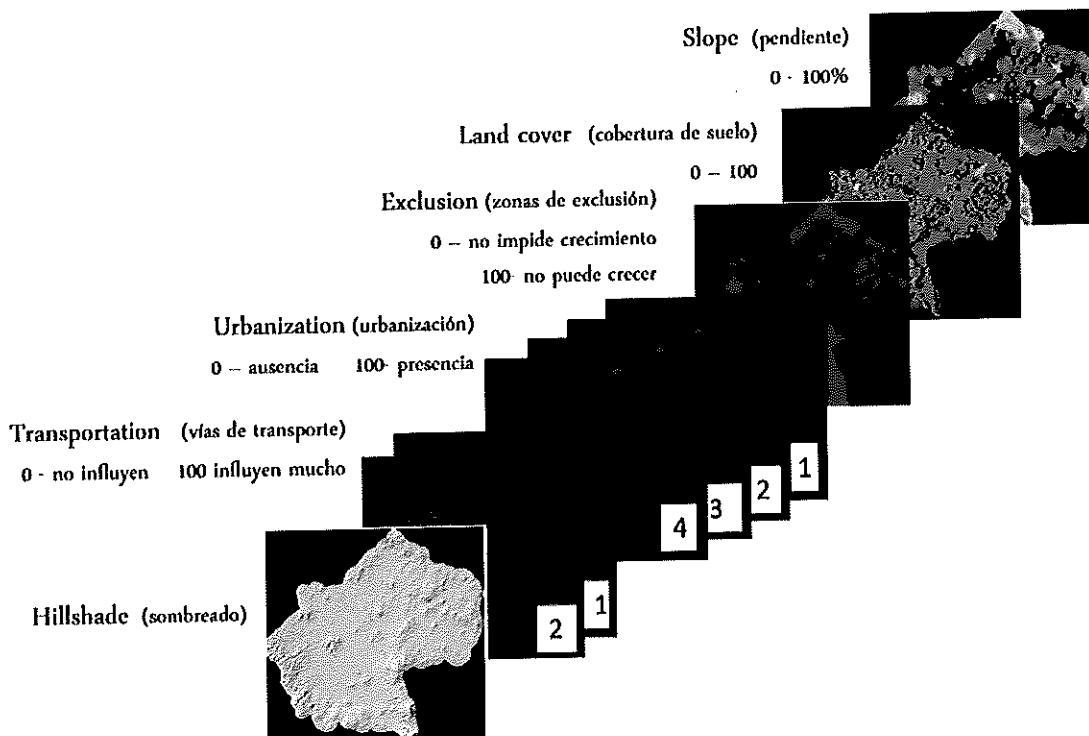


Figura 7. Capas de información en formato matricial que requiere el modelo SLEUTH para su implementación. Fuente: elaboración propia.

El proceso de desarrollo de los escenarios de crecimiento urbano consta de dos etapas, una abocada a la calibración del modelo y una más a la de predicción de los escenarios.

El objetivo de la etapa de calibración es obtener, a partir de iteraciones Monte Carlo, los valores de los 5 coeficientes de crecimiento que representan de mejor manera el fenómeno en la región en estudio. Estos coeficientes son importantes ya que determinan el funcionamiento de las reglas de crecimiento (Figura 8). Para lograrlo, el modelo simula capas de crecimiento de la fecha final empleada, con todas las combinatorias posibles de los coeficientes y las compara con la capa original de la fecha final, determinando el mejor ajuste con el índice Leesalee (Figura 9). En este trabajo se empleó la OSM

(Optimal SLEUTH Metric) debido a que ha demostrado dar resultados más precisos que el Leesalee (Dietzel y Clarke, 2007). Consta de cuatro fases, en las cuales se va reduciendo el rango de posibilidades de los valores que pueden tomar dichos coeficientes.

En la primera fase, denominada bruta, se prueban todos los valores posibles (1-100) para cada coeficiente en cada iteración, con un total de 7 iteraciones Monte Carlo.

La segunda fase o fina, establece el rango a probar a partir de los valores mayor y menor de las 5 corridas obtenidas de la calibración bruta con el índice Leesalee más alto (OSM en este caso). Por lo general son valores con diferencias no mayores a 25 y se corre con 10 iteraciones Monte Carlo.

La final, por su parte, sigue el mismo procedimiento que la fina, pero la diferencia en el intervalo por lo general no es mayor a 5 para cada coeficiente, corriéndose con el mismo número de iteraciones que en la fase anterior.

Por último está la de predicción en la cual se seleccionan los valores de la corrida con el valor más alto en el índice Leesalee (OSM en este caso) de la etapa final y se corre con 200 iteraciones.

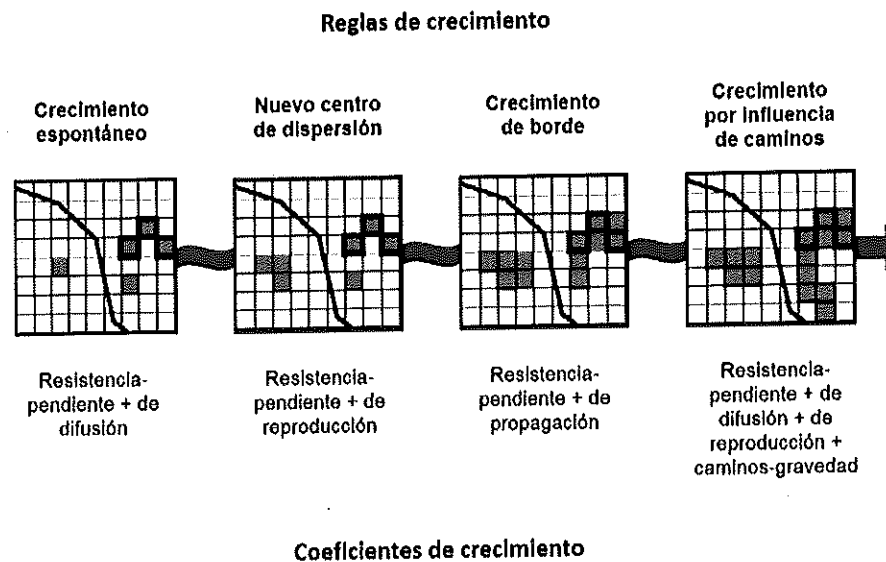


Figura 8. Ejemplificación de la manera como las reglas de crecimiento determinan éste y los coeficientes que las controlan. Fuente: elaboración propia.

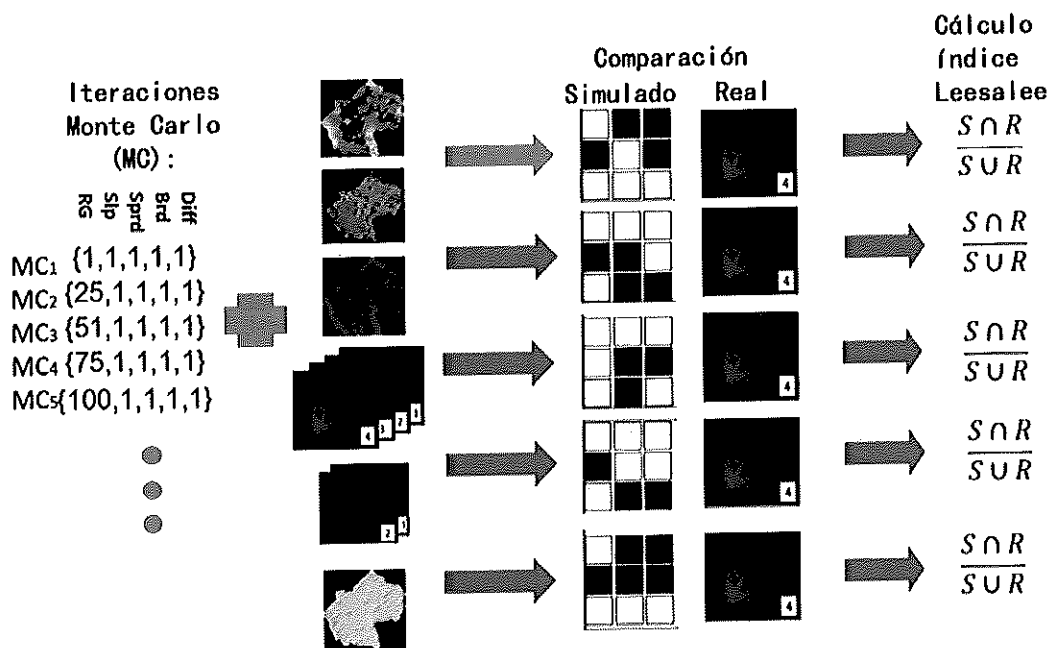


Figura 9. Ilustración del proceso de calibración. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenidos los coeficientes de crecimiento, se pasa a la etapa de la predicción, en la cual el modelo toma los valores de cada celda de las 6 capas de entrada y les aplica las reglas de crecimiento con los coeficientes obtenidos en la calibración, corriendo 200 iteraciones Monte Carlo para generar los escenarios de crecimiento urbano.

Obtención de las capas de información

Como se mencionó en la sección anterior, SLEUTH requiere al menos 5 capas de información para su implementación.

Para el caso del área urbana son 4 las fechas que se necesitan. En este estudio se establecieron: 1999, 2005, 2010 y 2014. Se decidió usar como inicial 1999, que corresponde a los vectoriales del INEGI, ya que era la información más antigua que cubría completamente el área. Los años siguientes se propusieron a partir de la disponibilidad de imágenes pancromáticas SPOT. Estas imágenes fueron elegidas debido a que se tenía libre acceso a ellas y la banda pancromática cuenta con una alta resolución espectral que permitía observar el fenómeno en estudio (2.5m). Para su generación, se editaron los vectoriales de 1999 mediante la interpretación visual de las imágenes satelitales, esto con la finalidad de no presentar altas confusiones entre suelo desnudo y suelo sellado. A todo aquello que fuera asentamiento humano, se le dio un valor de 100, ya que así lo estipula el modelo (USGS, 2014).

Las capas de vías de transporte se crearon a partir de los vectoriales del INEGI de 1999 y 2014, pues eran los que contaban con la información más completa de la zona y son dos fechas las que el modelo emplea en la simulación. Para determinar el valor que el SLEUTH requiere, se llevó a cabo un análisis que cuantificara el grado de influencia que cada tipo de camino (carreteras de más de dos carriles, carreteras de dos carriles, carreteras de un carril, terracerías y brechas) tiene en el crecimiento urbano.

Este análisis consistió en obtener el porcentaje del área ocupada por asentamientos humanos de un buffer de 100m generado a cada lado de cada camino de 1999 y de 2014; una vez obtenidos, se promedió el porcentaje total ocupado por tipo de camino de los dos años y se realizó una campana para su estandarización con SLEUTH, es decir, el porcentaje más alto encontrado se igualó a 100 y de ahí se calcularon el resto de los valores. Cabe señalar que este procedimiento se hizo tanto para la zona norte como para la sur, ya que en cada caso, la influencia de caminos era diferente (Figura 10; Tabla 1).

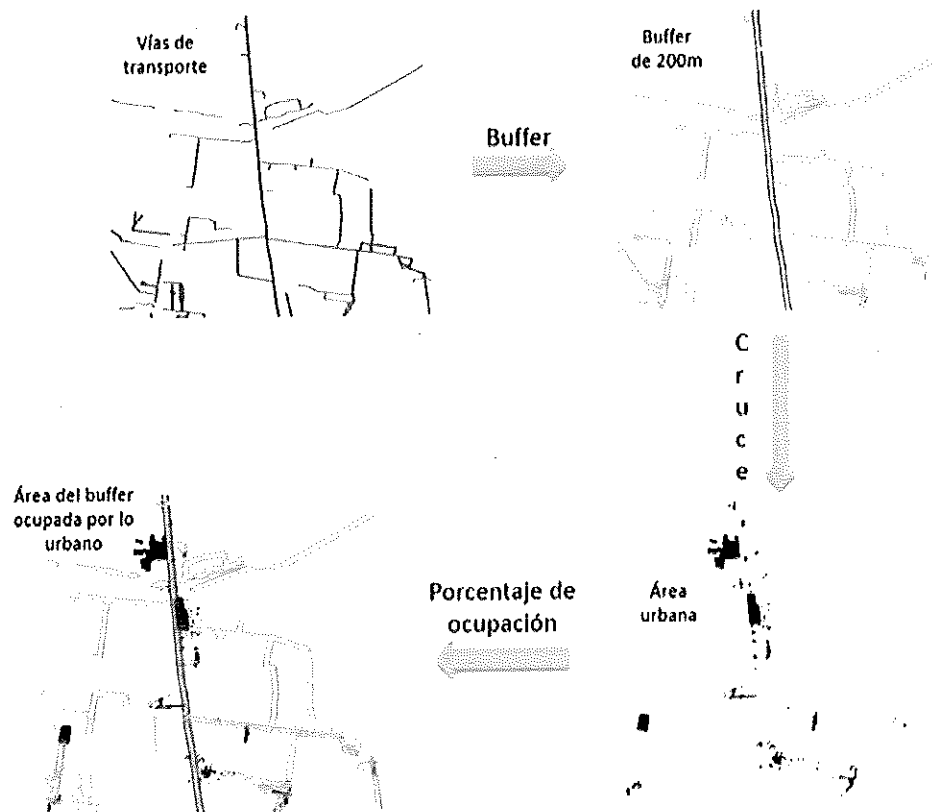


Figura 10. Ilustración del análisis empleado para la obtención de los valores de las vías de transporte para el SLEUTH. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Valor de cada tipo de camino para generar la capa de Transportation del SLEUTH.

Tipo	Zona Norte		Zona Sur	
	Promedio de ocupación	Valor SLEUTH	Promedio de ocupación	Valor SLEUTH
Carretera 1	1.71	35	2.21	18
Carretera 2	3.09	63	2.35	19
Carretera 3	3.31	68	N/D	N/D
Carretera ≥ 4	4.90	100	12.11	100
Terracería	1.97	40	2.45	20
Brecha	1.14	23	0.93	8

Carretera: camino pavimentado federal o estatal libre; 1: de 1 carril; 2: de 2 carriles; 3: de 3 carriles; ≥ 4 : de 4 o más carriles.

Las pendientes y el hillshade (sombreado) se derivaron del modelo de elevación digital (MED) del INEGI, la primera capa se calculó en porcentaje y posteriormente se normalizó de 1 a 100, pues así lo estipula el modelo y el segundo en niveles digitales.

Por último, se generaron dos capas de exclusión, esto con la finalidad de evaluar el efecto que tendrían los instrumentos de ordenamiento ecológico y territorial en el incremento urbano. La primera o escenario 1 (E1 en adelante), corresponde a la capa que considera diferentes niveles de restricción (donde 0 indica que puede haber crecimiento y 100 que no es posible) obtenidos a partir de los usos de suelo permitidos en las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) del Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero de Estado de Yucatán y del Estado de Yucatán; también se contemplaron los cuerpos de agua de los vectoriales del INEGI a los cuales se les aplicó prohibición completa. En el escenario 2 (E2) sólo los cuerpos de agua fueron usados (Tabla 2; Figura 11).

Tabla 2. Valores de exclusión para el modelo SLEUTH

Unidad o elemento	Valor SLEUTH
Protección	100
Conservación	75
Aprovechamiento	0
Aprovechamiento sustentable medio	50
Restauración	0
Cuerpos de agua	100

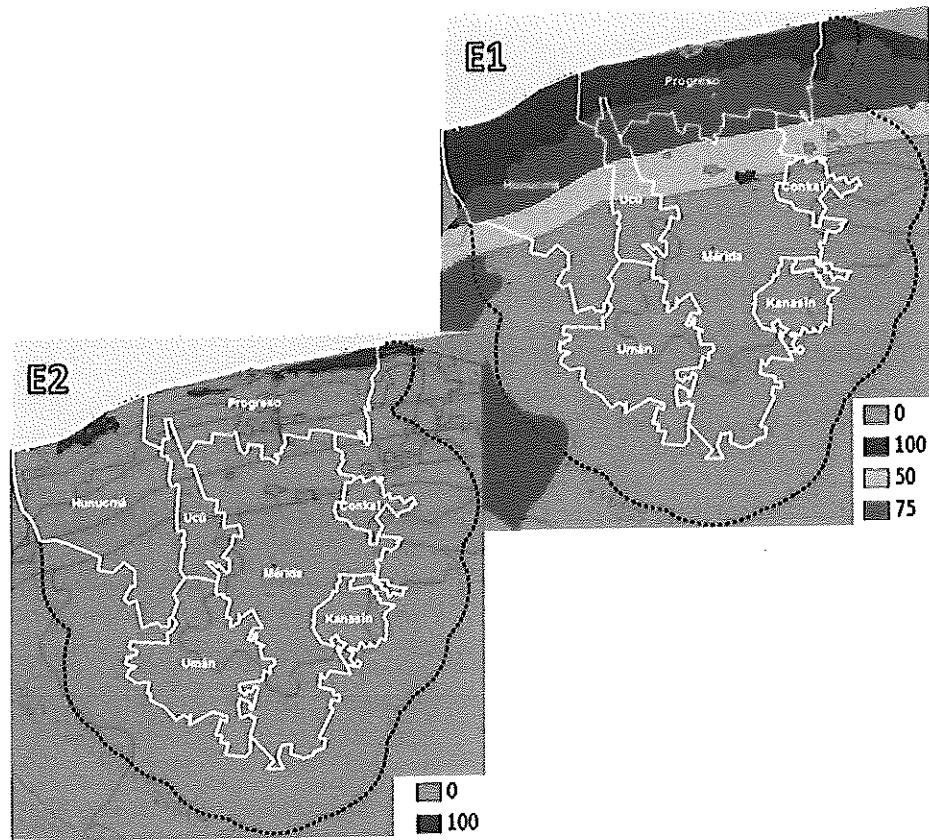


Figura 11. Capas de exclusión de los Escenarios 1 y 2 donde se muestra las áreas de exclusión o restricción del crecimiento, donde cercano a 100 no es posible que se de éste y próximo a 0 es factible que suceda. Fuente: elaboración propia.

Todas las capas fueron transformadas a formato *.gif en escala de grises, a una resolución espacial de 30m, ya que el modelo no soportó un tamaño de celda más grande (15m). Una vez transformadas se corrieron los escenarios al año 2030, ya que el año final de la predicción debe sumar el mismo número de años que se emplearon para la calibración; en este caso fueron 15 (de 1999 a 2014) y evaluaron los resultados. Los coeficientes resultantes de la calibración y usados para la predicción se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes de crecimiento obtenidos de la fase de calibración para los dos escenarios modelados.

Coeficiente	Zona norte		Zona Sur	
	E1	E2	E1	E2
Diff	100	13	28	28
Brd	25	3	33	41
Sprd	50	55	43	30
Slp	39	92	65	76
RG	29	82	11	17

Coeficientes: Diff -difussion (dispersión); Brd – breed (reproducción); Sprd – spread (propagación); Slp – slope (resistencia-pendiente); RG - road-gravity (caminos-gravedad).

Una vez obtenidos los escenarios de crecimiento urbano, se cuantificó la pérdida de manglares y otros humedales a partir del cruce con la capa de manglares y otros humedales de la CONABIO (2013c y d) y se discute sobre su efecto en la red ecológica propuesta.

Resultados y discusión

Dos resultados importantes se obtuvieron en este estudio, el primero que tiene que ver con la forma y cobertura de la mancha urbana de la ZMM-Progreso-Hunucmá tanto del pasado al presente (1999-2014) como del presente al futuro (2014-2030); y el segundo que está relacionado con la identificación de regiones prioritarias a atender por la pérdida de cobertura de manglares y otros humedales que puede llegar a darse por el crecimiento urbano de la región.

De esta manera fue posible observar el avance de la mancha urbana en el territorio de la ZMM de 1999 a 2014 (Figura 12) la cual ocupa actualmente 20,940ha, siendo el municipio de Mérida el que mostró el mayor incremento en este periodo (3,026ha) con una superficie total de 18,004.2ha al año 2014, dándose principalmente hacia el norte (Figuras 13 y 14). Le sigue Kanasín con un aumento de 525ha y un área total de 1,327.84ha y Ucú ocupa el último lugar al mostrar un incremento de 21ha y una extensión total de 166ha (Figura 13).

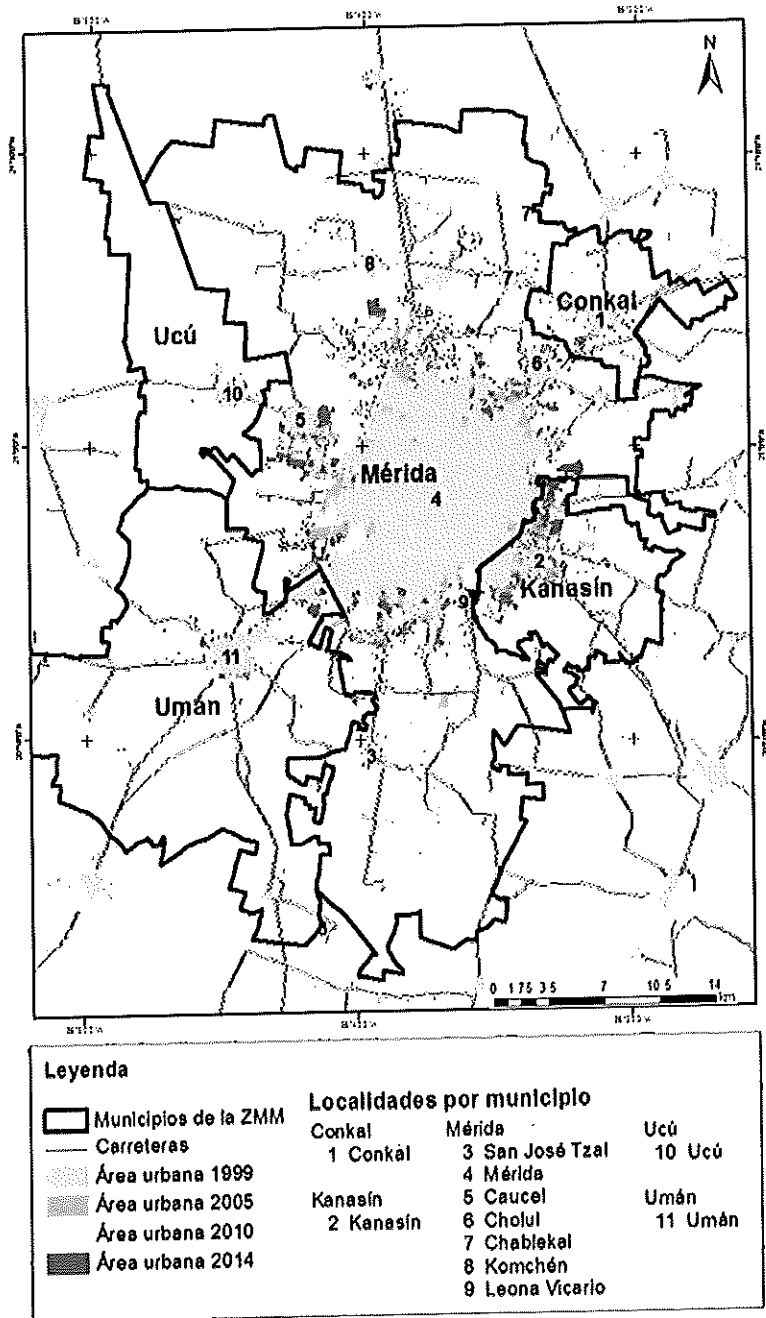


Figura 12. Crecimiento urbano en los municipios de la Zona Metropolitana de Mérida donde es posible observar que éste se ha dirigido principalmente al NW de Mérida y hacia Kanasin.

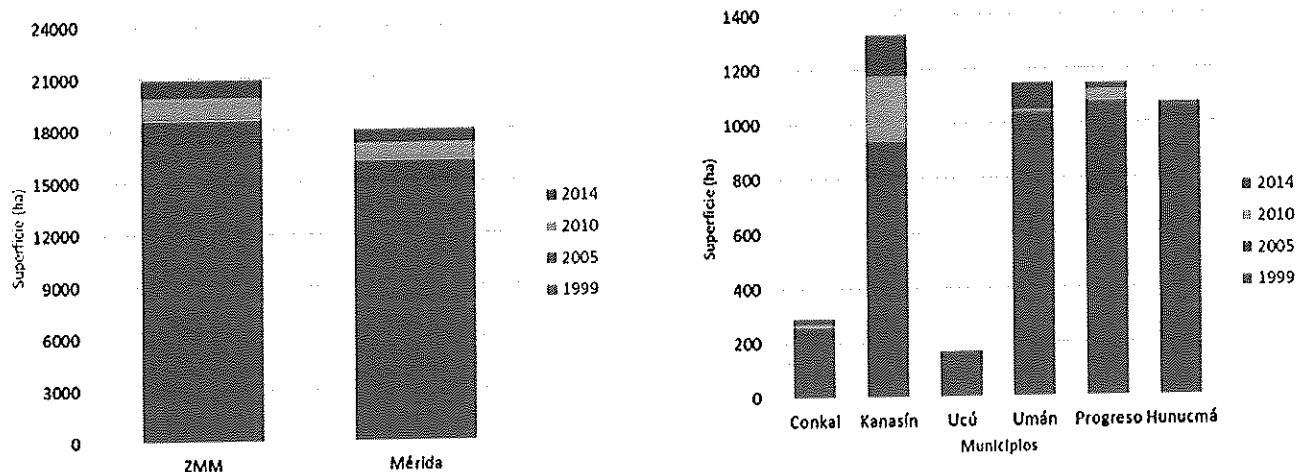


Figura 13. Incrementos de 1999 a 2014 del área urbana de la ZMM, de los municipios que la conforman y de Progreso y Hunucmá, donde se observa que el crecimiento se ha dado principalmente en Mérida y Kanasín, siguiéndole Progreso y en último lugar Ucú, el cual desde el 2005, no presenta incrementos importantes.

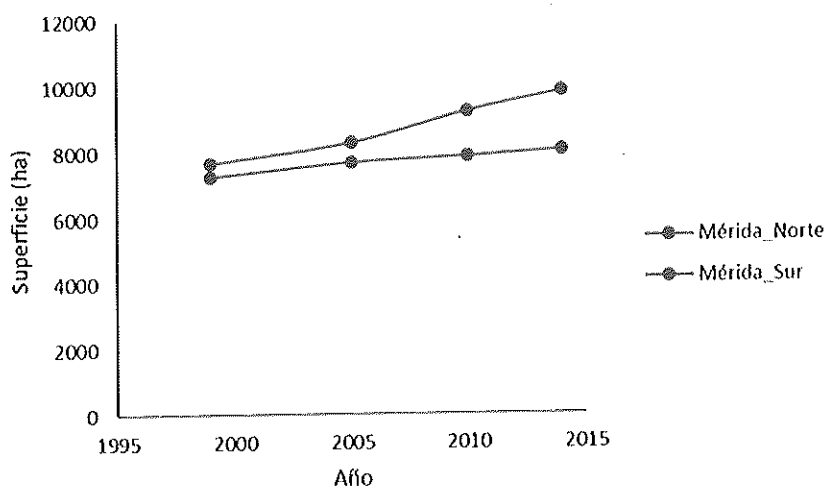


Figura 14. Crecimiento de los asentamientos humanos en la zona norte y sur del municipio de Mérida de 1999 a 2014, donde se observa que es en el norte donde ha sido superior.

Con respecto a los municipios de Progreso y Hunucmá, es el primero el que presenta mayor incremento (400ha) con una superficie sellada de 1,148ha, ocupando el tercer lugar en crecimiento al estar por debajo de Kanasín (Figuras 13 y 15).

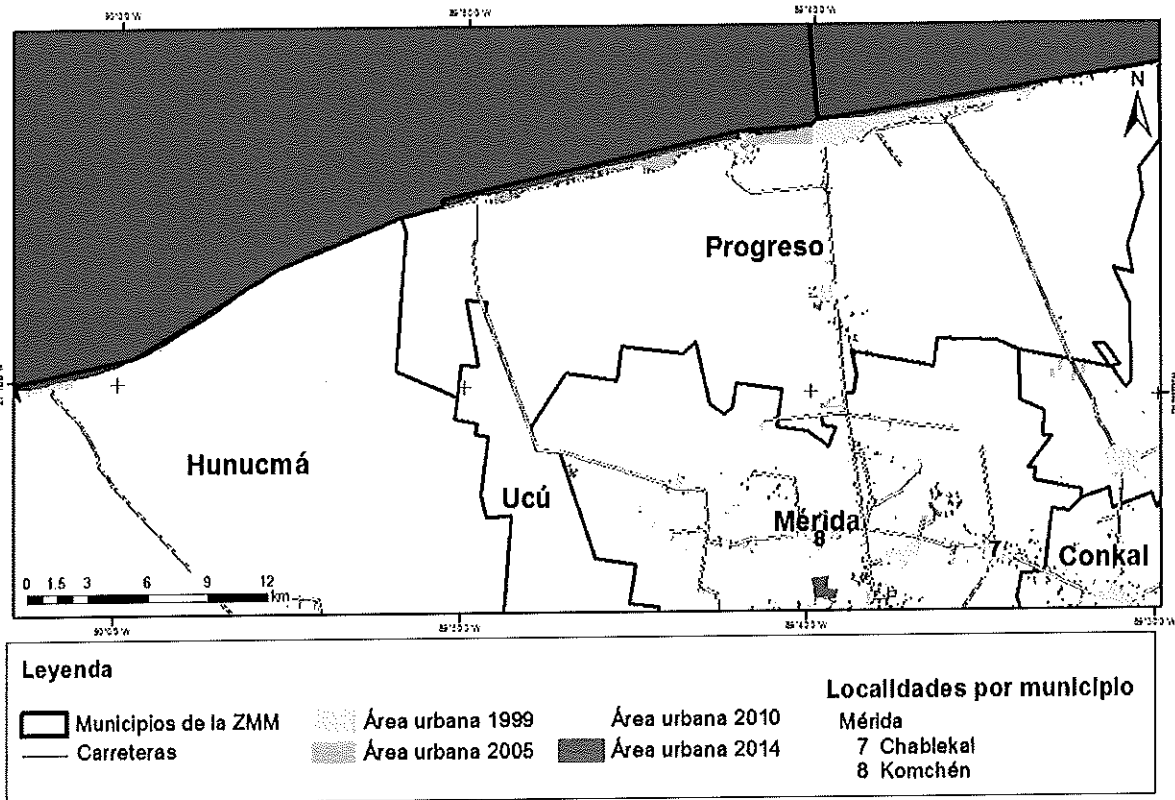


Figura 15. Crecimiento urbano en los municipios de Progreso y Hunucmá.

Es así que el crecimiento se ha dirigido principalmente hacia el Noroeste y Norte del municipio de Mérida, llegando hasta Progreso, y al SE de la ZMM, concentrándose en Kanasín (Figuras 12 y 15), siendo en el primer caso por desarrollos inmobiliarios de gran extensión, que en muchos casos no han sido ocupados, y en el segundo, tanto por desarrollos inmobiliarios como por el establecimiento de viviendas de manera dispersa (Figura 16).



Figura 16. Asentamientos humanos en diferentes partes de la ZMM.

Este crecimiento probablemente se ha dado principalmente en zonas agrícolas y pecuarias (pastizales), ya que es en estos municipios donde se concentran grandes pérdidas de éstas sin una recuperación proporcional de vegetación primaria y secundaria, tal como sucede en Mérida ya que de 1993 a 2002, hubo un decremento de 7,166ha de agricultura y pastizales con un incremento de vegetación secundaria de 3,996 ha (Figura 17). Esto confirma lo expuesto por Iracheta y Bolio (2012), los cuales mencionan que el crecimiento de Mérida se ha dirigido a zonas anteriormente productivas, principalmente henequeneras, que han sido abandonadas, vendidas o invadidas.

De esta dinámica también es importante mencionar Progreso, el cual de 2002 a 2011 presentó pérdida de vegetación primaria (663ha) e incrementos de vegetación secundaria (4,297ha), lo cual nos habla tanto de un proceso de cambio de uso de suelo donde se pierden zonas productivas ya sea por abandono o por sellamiento, como de una situación social y económica que está dando como consecuencia la degradación del ambiente (Figura 17).

Por lo tanto, es importante llevar a cabo un estudio que permita analizar de manera más profunda este fenómeno de cambio de uso de suelo, ya que no sólo implica la pérdida de cobertura natural, sino de recursos alimentarios que, de seguir creciendo la ZMM, serán necesarios para la manutención de los pobladores y para la sustentabilidad alimentaria de la ZMM.

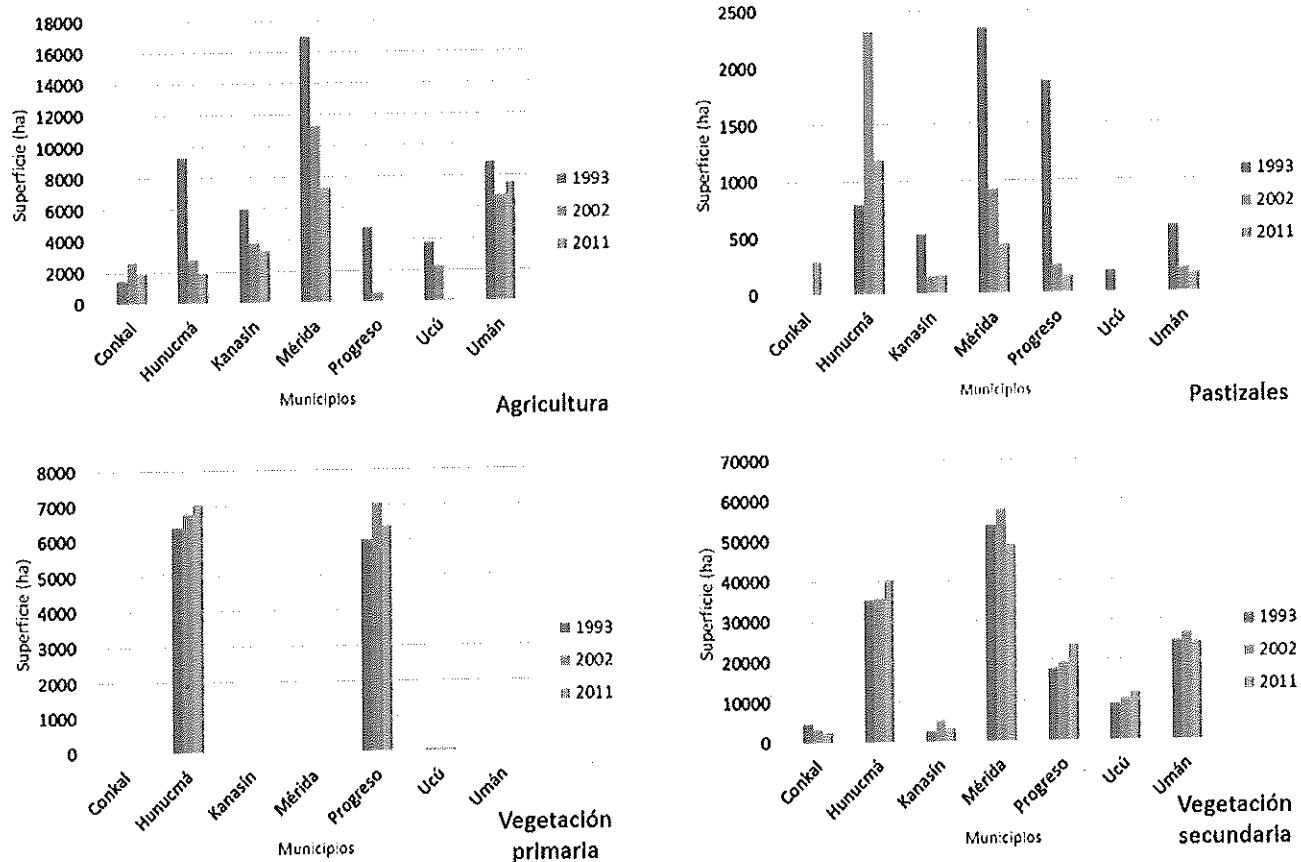


Figura 17. Superficie de agricultura, pastizales, vegetación primaria y secundaria de los municipios de la ZMM – Progreso y Hunucmá en el periodo 1993-2011. Fuente: Elaboración: Silvestre Zepeda a partir de las series de Vegetación y uso de Suelo del INEGI (1993, 2002 y 2011).

También es importante mencionar que en la parte norte existen grandes áreas loteadas que a lo largo del periodo de estudio no han sido construidas e inclusive, en algunos casos, desaparece su trazado por la aparición de vegetación secundaria. Esto genera la remoción de la cobertura vegetal por ofertar un terreno que no se usa, limitando la recuperación y desarrollo de la misma y por lo tanto, los servicios ambientales que puede llegar a brindar como es la recarga del acuífero (Figura 18).

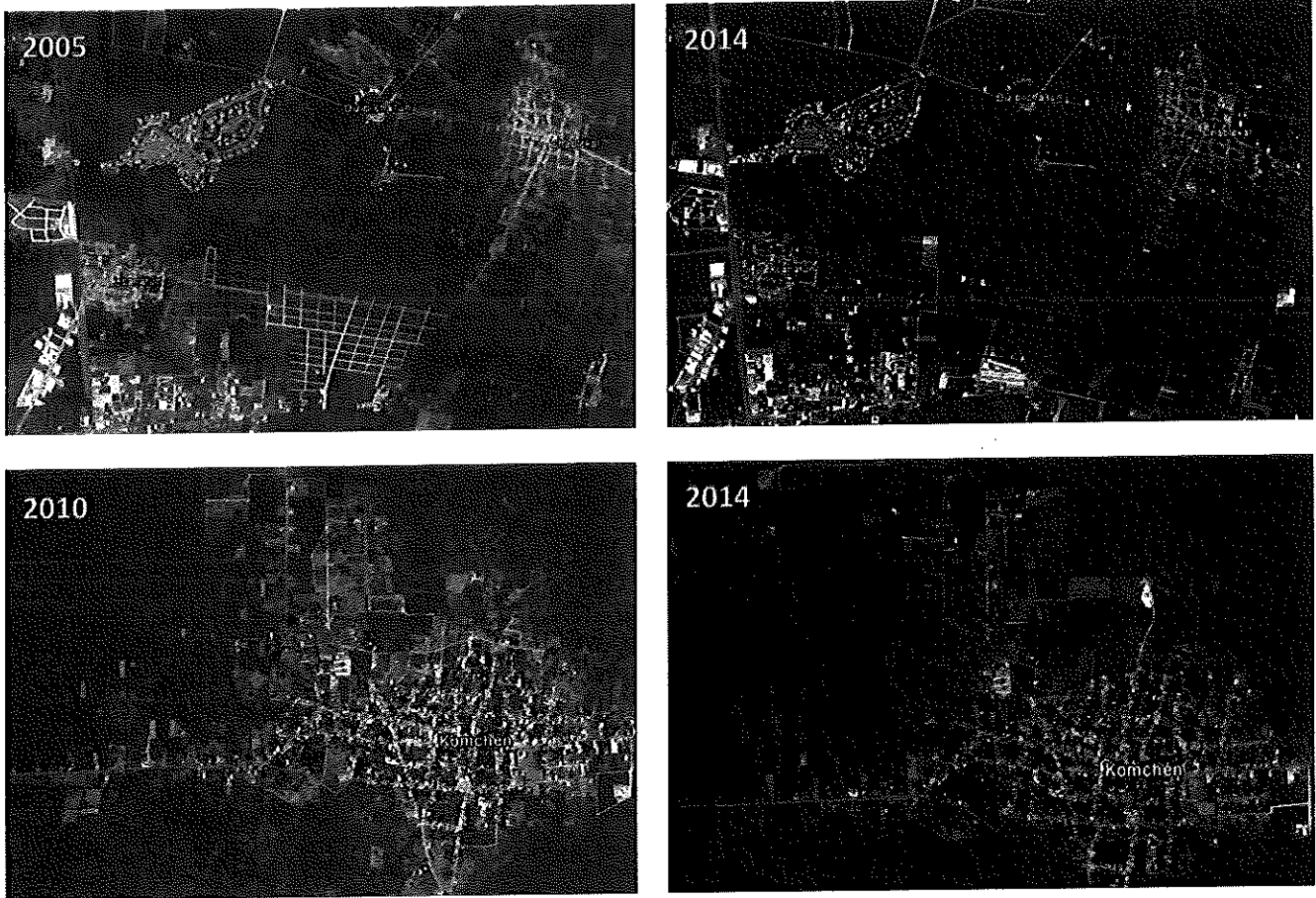


Figura 18. Ejemplos de zonas donde existe lotificación pero no se construye (arriba) y donde incluso desaparece el trazado (abajo), en el periodo estudiado.

Los escenarios de crecimiento urbano y su afectación en los manglares

Con respecto a los escenarios de crecimiento urbano, se encontró que sólo aplicando los instrumentos de ordenamiento será posible concentrar el avance de la mancha urbana en la ZMM, pues es en el E1 donde la ZMM tiene los mayores incrementos, dándose principalmente en Kanasín y Umán; pero de no considerarse, es decir, si se presenta el E2 o tendencial, éste se dirigirá hacia Progreso y Hunucmá, reduciéndose la superficie ocupada en la ZMM, pero incrementándose en estos dos municipios (Figura 19), afectando una alta proporción de territorios ocupados por manglares y otros humedales (alrededor de 30ha y 45 ha, respectivamente; Figura 20), lo que pone en riesgo los servicios ecosistémicos que brindan y que son tan importantes para los pobladores de la ZMM.

El modelo SLEUTH lo que predice son las áreas propicias para el establecimiento de asentamientos humanos a partir de las condiciones del terreno, de las dinámicas de crecimiento pasadas y de la vecindad que guarda con respecto a las celdas contiguas de las capas de información empleadas; por lo que no contempla de manera explícita variables económicas como plusvalía del terreno, centros futuros de atracción (como es el caso del PCTYUC o zonas lotificadas), acceso a bienes y servicios (ya que sólo utiliza las vías de transporte, pero no el acceso a agua, luz, centros comerciales) entre otros,

por lo que sería importante desarrollar modelos donde se consideren estas variables para así tener resultados más robustos y con mayor apego a la realidad y a la complejidad del problema en estudio.

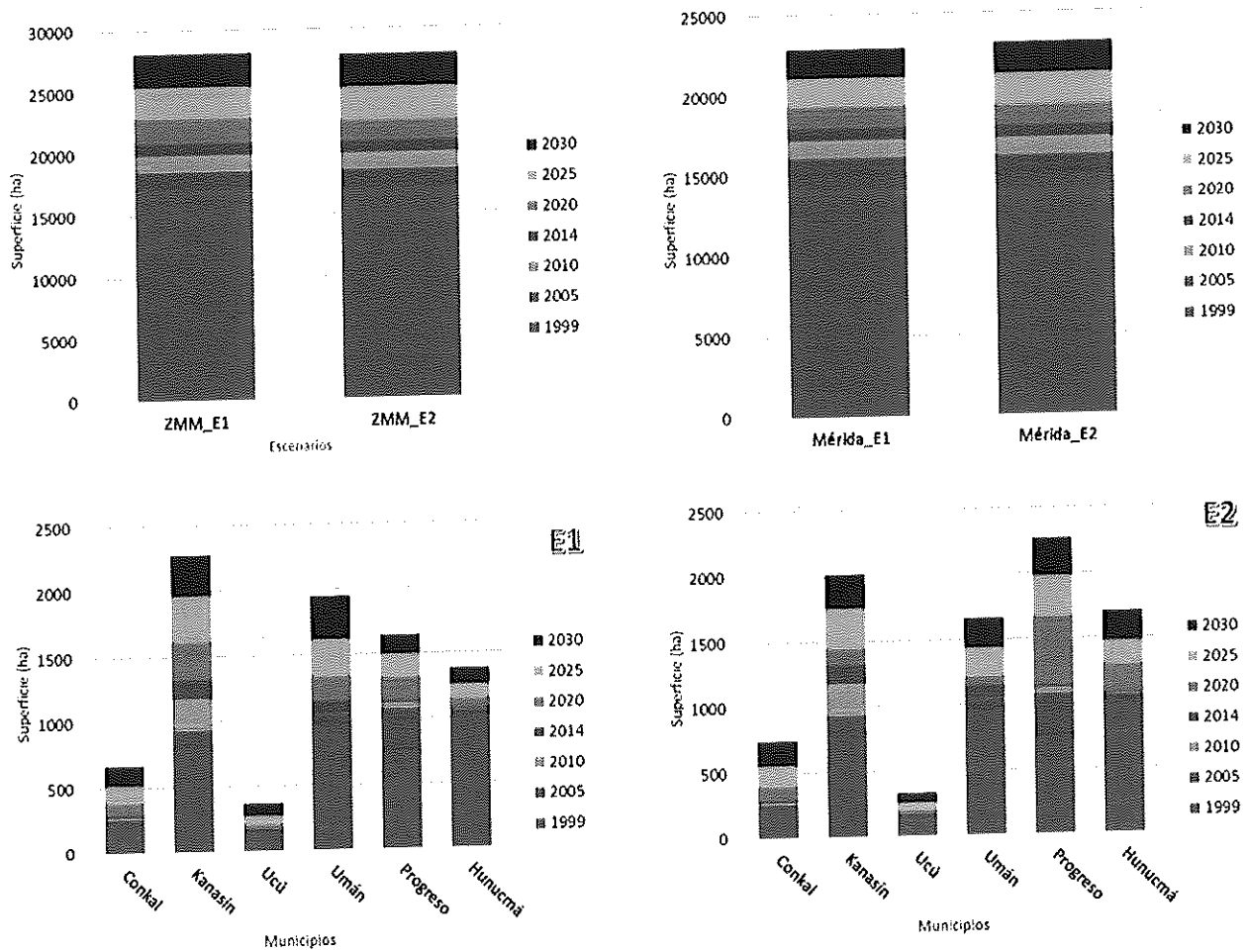


Figura 19. Acumulado del crecimiento urbano de 1999 al año 2030 derivado de los escenarios 1 y 2 del modelo SLEUTH. En la parte superior izquierda se muestra el concerniente a la ZMM, en la derecha el de Mérida y en la parte inferior el del resto de los municipios, incluyendo Progreso y Hunucmá.

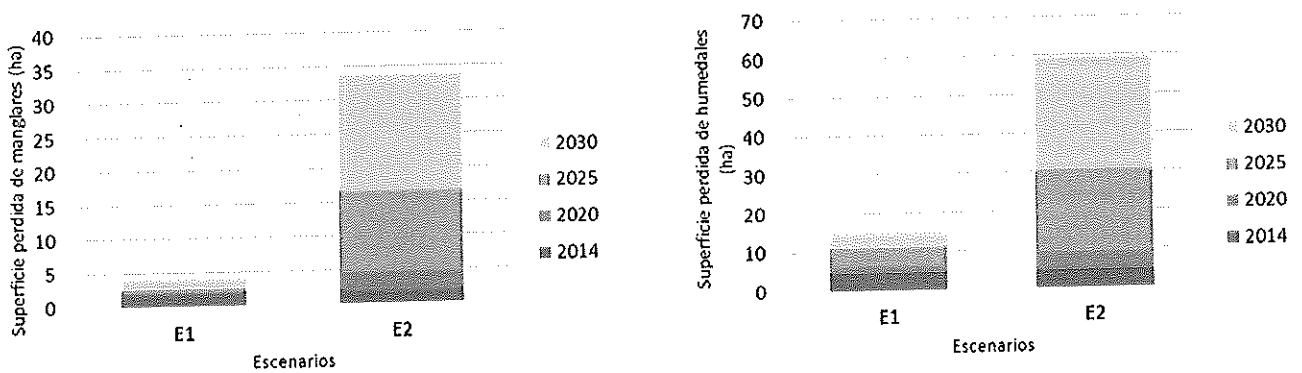


Figura 20. Pérdida que se daría de manglares (izquierda) y otros humedales (derecha) por el crecimiento urbano de los escenarios 1 y 2 del modelo SLEUTH.

Otro aspecto importante que se observó en este estudio fue el papel que juegan los caminos en el crecimiento urbano, ya que se encontró que las carreteras de más de dos carriles sí tienen mayor influencia, en especial aquellas de más de cuatro carriles (Tabla 1), por lo que es importante realizar estudios que contemplen los efectos que puede tener la ampliación de caminos que conectan a Mérida con las costas de Progreso y Hunucmá, sobre todo en los que permitan el acceso a ecosistemas prístinos, ya que a la fecha, se han perdido 1.98ha de manglares y 4.41ha de otros humedales de estos municipios (CONABIO, 2013b; Figura 20). También es importante medir esto en el camino que conecta al PCTYUC con las costas de Progreso, ya que se espera que el parque sea un centro de atracción en los años venideros, por lo que su modificación podría propiciar el poblamiento de una región que a la fecha se ha mantenido sin influencia humana (Figura 21).

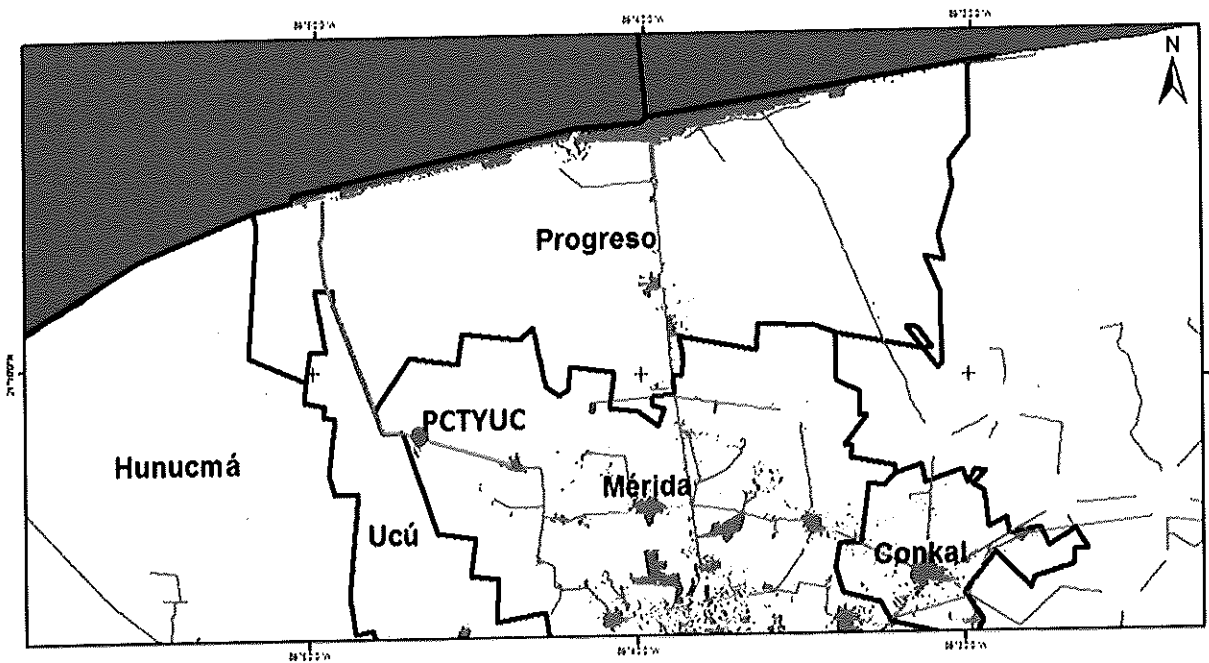


Figura 21. Caminos que deben ser modificados en la modelación para evaluar el efecto de su ampliación a cuatro carriles en el crecimiento urbano.

La propuesta de red ecológica

Con el objeto de mejorar la eficacia de las políticas de conservación y de ordenación territorial de las ciudades-región; y así reducir la fragmentación de hábitats y espacios verdes, en los últimos años se ha contemplado la puesta en marcha de políticas que integren criterios de conectividad ecológica en la planificación territorial y sectorial. Una forma de hacerlo es usando como base las denominadas *redes ecológicas*, ya que son sistemas coherentes de elementos del paisaje naturales y/o seminaturales establecidos y gestionados para mantener o recuperar las funciones ecológicas, así como proporcionar recursos que puedan ser usados de manera sustentable (Forman, 1995).

La pertinencia de la adopción de una estrategia territorial basada en una *red ecológica* deriva de que conforma un modelo que permite plasmar las conexiones existentes entre los diferentes elementos del ecosistema; también la *red ecológica* se visualiza como una estructura, ya que muestran la manera en que se organizan los diferentes componentes de los ecosistemas. Y de la mayor importancia, la *red ecológica* puede convertirse en una estrategia territorial compartida, pues la forma como se estructure y modele dará las pautas para la actuación y compromisos vinculantes de los diferentes actores involucrados.

Por lo anterior, la propuesta de *red ecológica* es la plataforma para la generación de estrategias de planeación ambiental y urbana, pues su objetivo no sólo es mantener la continuidad biológica y del paisaje, sino también proporcionar oportunidades adecuadas para poder detonar procesos de desarrollo que garanticen un uso sostenible de los recursos naturales.

Cabe destacar que al considerar el paisaje como ámbito de aplicación de la integralidad ecológica, la propuesta contempla no sólo el rehabilitar los ecosistemas sino también, sus conexiones con los sistemas socioeconómicos, es decir, los procesos originados por la presencia humana en la estructura y funciones de la naturaleza (Forman, 1995).

Por lo tanto, la *red ecológica* significa contar con un modelo de planificación y gestión del capital natural que asegura los procesos ecológicos que resultan en servicios ambientales para el hombre.

En este trabajo, la creación de la *red ecológica* se hizo a partir de la identificación de patrones espaciales que integran tanto las necesidades urbanas como la conservación de la naturaleza, lo que permitió encontrar corredores que optimizan, de acuerdo a estos criterios, la conectividad entre parches remanentes de manglar y con otros tipos de vegetación. De esta manera, se pudo observar, que los manglares del sistema costero y lagunar de Progreso, son indispensables para la permanencia de este ecosistema y por lo tanto, de la ZMM y de las poblaciones de Progreso y Hunucmá, ya que es en ellos donde se encuentran dichos corredores (Figura 22).

Lo anterior obliga a observar este fenómeno con mayor detenimiento ya que al comparar la *red ecológica* con lo obtenido en los escenarios de crecimiento urbano, se encontró que varios de estos corredores se verán afectados por el avance de la mancha urbana, algunos de ellos con un alto valor de conectividad (Figura 22).

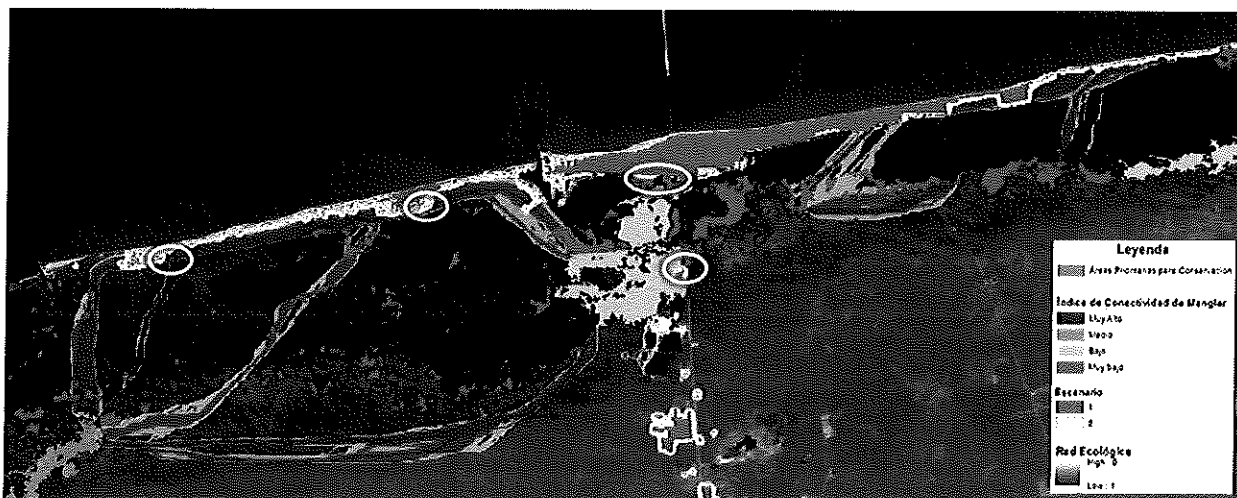


Figura 22. La red ecológica y las zonas donde los manglares se verán afectados (círculos rojos) por el crecimiento urbano.

Al comparar la *red ecológica* con el escenario tendencial (E2), fue posible identificar aquellas áreas que corren riesgo de perderse por el crecimiento urbano y que son indispensables para el buen funcionamiento del ecosistema, ya que son áreas que determinan la conectividad del mismo. Por lo tanto, es por medio de esta propuesta, que es posible empezar a focalizar esfuerzos en la generación de estrategias que permitan el desarrollo sustentable de éstas para que no sean invadidas y así asegurar a los pobladores, la permanencia de los servicios ecosistémicos que estas regiones brindan (Figura 22).

Hacia una estrategia de política pública territorial

De los resultados generados en este estudio fue posible observar la dinámica de crecimiento de la mancha urbana en la ZMM y en los municipios de Progreso y Hunucmá, detectándose que éste se ha dado principalmente hacia el N y SE, caracterizado por el avance de la periferia, ya sea por la construcción de conjuntos habitacionales o por asentamientos dispersos.

Debido a que este trabajo fue una aproximación para comenzar a entender el fenómeno, los agentes implicados en este desarrollo no fueron abordados, por lo que sería interesante profundizar en ellos para encontrar respuestas que den luz para un mejor entendimiento que permita el desarrollo de políticas e instrumentos de planificación de ordenación del territorio que sean coherentes tanto territorial, como política y administrativamente hablando.

El crecimiento de una zona metropolitana no sólo implica la necesidad de suelo disponible para la construcción, sino también de regiones que brinden servicios ecosistémicos y recursos alimentarios para dar un nivel de vida digno a sus pobladores. En este sentido, la ZMM se está viendo amenazada al haber un abandono y ocupación por otras actividades del suelo agrícola y ganadero, por lo que se debe de profundizar en este tema para entender el fenómeno y así dar alternativas que permitan preservar la seguridad alimentaria de la región.

Con los escenarios de crecimiento urbano generados, se pudo cuantificar la superficie que abarcarán los asentamientos humanos al año 2030 en la región de estudio y el efecto que tendrán los instrumentos de ordenamiento territorial en estos, corroborando que son la única barrera que existe para la contención del avance urbano sobre los manglares y otros humedales de los municipios de Progreso y Hunucmá, los cuales son importantes por los servicios ecosistémicos que brindan a los pobladores de estos y de la ZMM.

Así mismo, se argumenta la pertinencia de conformar una *red ecológica*, y bajo este modelo de ordenación territorial se avanza en la identificación de corredores prioritarios para el buen funcionamiento de los ecosistemas de la región, algunos de los cuales se verán afectados por los asentamientos humanos futuros. Por lo que para evitar el establecimiento de los mismos, se debe de pensar en estrategias que permita a los pobladores desarrollarse, al mismo tiempo que obtienen un beneficio pero sin degradarla. Por lo tanto, es importante entender de mejor manera, la dinámica naturaleza-población de la región para así lograr la cristalización de la red ecológica y sus alcances.

De los párrafos anteriores queda claro que es de primordial importancia focalizar esfuerzos en los corredores de la zona de manglares y sobre todo, generar una estrategia de desarrollo de la región que mantenga la capacidad funcional de dichos corredores, y por ende, los servicios ambientales que brindan a la población de la ZMM.

Esta primera aproximación a las dinámicas territoriales y su posible encauzamiento vía una estrategia de *red ecológica*, permite apuntar vertientes de trabajo interinstitucional:

- i. Generar mayor información y conocimiento para la activación de políticas territorialmente diferenciadas, más allá de los ordenamientos y sus crónicas limitaciones;

- ii. La conformación de una *Red Ecológica* como modelo de ordenación, que funja como instrumento clave en el establecimiento de áreas prioritarias a atender. Esto a partir del estudio de las dinámicas población-sociedad;
- iii. La revalorización de las políticas territoriales en la región
- iv. Desarrollar escenarios de crecimiento urbano con modelos matemáticos más robustos que contemplen otros actores implicados en este fenómeno como son centros de atracción, accesibilidad a servicios, plusvalía del territorio, entre otros.
- v. Explorar los procesos de expansión y contracción de la frontera agropecuaria a consecuencia del crecimiento urbano.
- vi. Evaluar tanto la influencia que tendría la ampliación de caminos en el crecimiento urbano de los municipio de Progreso y Hunucmá y por lo tanto, en los manglares; como el avance de la lotificación en la ZMM.
- vii. Valorar el establecimiento de asentamientos urbanos vs pérdida de servicios ecosistémicos.

La complejidad de lo antes planteado requiere de trabajos multidisciplinarios que aborden el problema desde diferentes áreas del conocimiento, por lo tanto, es importante que instituciones como Centro Geo, CICY, CIMAT y CIDE unan esfuerzos en generar estudios que permitan un mejor entendimiento del fenómeno, para así poder lograr políticas públicas territoriales que sean congruentes con las dinámicas de la región y que ayuden a regular de manera adecuada la gestión del territorio.

Referencias

- Alberti, M. 2005. The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. 2004. *International Regional Science Review*. 28:2. 168-192.
- Alberti, M., Marzluff, J. M. 2004. Ecological resilience in urban ecosystem: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*. 7. 241-265.
- Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente A. C. (CMM). 2014. *Ciudades: Mérida. Escenarios de crecimiento. Modelos de desarrollo sustentable*. CONACYT. México. 32 p.
- Clarke., K. C., Hoppen, S., and Gaydos, L. 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B*. 24. 247-61.
- CONABIO. 2013a. Cambios de la superficie de los manglares en México (1981-2005). Escala: 1:50000. 1ª Edición. Proyecto: GQ004, *Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas*. México, DF.
- CONABIO. 2013b. Cambios de la superficie de los manglares en México (2005-2010). Escala: 1:50000. 1ª Edición. Proyecto: GQ004, *Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas*. México, DF.
- CONABIO. 2013c. Mapa de conectividad de los manglares del estado de Yucatán, 2010. Escala: 1:50000. 1ª Edición. Proyecto: GQ004, *Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas*. Distrito Federal, México.
- CONABIO .2013d. Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares, Region Península de Yucatán (2010). Escala: 1:50000. 1ª Edición. Proyecto: GQ004, *Los manglares de México: Estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2da y 3era etapas*. México, DF.
- Dickinson, F., Viga, C., Lizarraga I., Castillo, T. 2006. Collaboration and conflict in an applied human ecology Project in coastal Yucatan, Mexico. *Landscape and Urban Planning*. 74. 204-222.
- Dietzel, C., Clarke, C. 2007. Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Change Model. *Transactions in GIS*. 11:1. 29-45.
- González, L. 2009. Mérida y su territorio. Capítulo I. En Cruz, M. *Diagnóstico sobre la realidad social, económica y cultural de los entornos locales para el diseño de intervenciones en la materia de prevención y erradicación de la violencia en la región sur: el caso de la Zona Metropolitana de Mérida, Yucatán*. México. 6-32 p.
- Iracheta, A., Bolio, J. 2012. *Mérida Metropolitana. Propuesta integral de desarrollo*. Grupo impresor Unicornio S. A. de C. V. México. 379 p.
- Kaplowitz, M. D. 2001. Assessing mangrove products and services at the local level: the use of focus groups and individual interviews. *Landscape and Urban Planning*. 56. 53-60.
- Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2007. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*. 1ª edición. México. 110 p.
- Secretaría de Desarrollo Social (SDS), Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. 1ª edición. México. 216 p.

USGS. 2014. Data input. Project Gigalopolis. <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/dtInput.htm>
Consultado el 15/10/2014.