

DINÁMICA TERRITORIAL DE ISLA DEL CARMEN, CAMPECHE, A PARTIR DE IMAGENES LANDSAT 1984-2000¹.

Lilia Susana Padilla y Sotelo
Investigadora del Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
padilla@igg.unamx

Ayesa Martínez Serrano
Posgrado de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México
ayetsa.martinez@gmail.com

Arun Kumar Acharya
Investigador del Instituto de Investigaciones Sociales
Universidad Autónoma de Nuevo León
acharya.iinso@gmail.com

RESUMEN: La Isla del Carmen, Campeche se localiza en el Golfo de México, ha registrado significativos acontecimientos históricos, sociales, económicos y ambientales, el más reciente el descubrimiento de yacimientos de petróleo en la zona de explotación de hidrocarburos en la cercana Sonda de Campeche, factor que ha incidido en transformaciones en su territorio con un impacto sin precedente, tanto en el ámbito productivo como en el espacial, aquí se hace referencia al segundo, ya que desde la década de los ochentas del siglo XX, Isla del Carmen, ha visto modificar, en menor medida la zona de costa y principalmente su espacio urbano, los cambios en este último han generado problemas ambientales en la isla que constituye un Área Natural Protegida, afectada por el crecimiento de población que en treinta años ha visto más que duplicar sus cifras. El objetivo del trabajo es mostrar las transformaciones territoriales en la costa y el espacio urbano. Inicia con el planteamiento teórico desde la perspectiva de la Teoría de Sistemas en la cual el espacio geográfico como totalidad se apoya en elementos que se configuran en la superficie terrestre relacionados con algún tipo de significación, se complementa con la importancia de la utilización de imágenes de satélite que integran la información multitemporal y espacial para análisis del territorio y se considera la complejidad del espacio de Isla del Carmen con grandes contradicciones. Continúa con la exposición de los rasgos geográficos que explican los procesos que se han observado. Después se menciona los materiales y métodos utilizados en donde se muestran los resultados del análisis satelital. Finaliza con la discusión y resultados con el examen y evaluación de los cambios detectados en la costa y la expansión urbana de este territorio insular.

PALABRAS CLAVE: isla, costa, petróleo, crecimiento espacial, espacio urbano

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con extensas costas debido a su excelente posición geográfica que le permite tener contacto con litorales en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico, en este último - en el Golfo de México y en el Mar Caribe- por lo que sus costas y regiones marinas cobran especial relevancia. Si a esto se agrega que en el Golfo de México se localizan importantes yacimientos de petróleo, le convierten en un país altamente competitivo en los aspectos marítimo y energético.

¹ La investigación forma parte del proyecto “Carácter Geoestratégico de tres islas de México Cedros, Carmen y Cozumel: desde la perspectiva de su territorio, población y economía” Clave IN300512 auspiciado por la Dirección General de Asuntos Académicos (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)

En ese contexto el amplio Territorio Insular de México (TIM)² cobra especial relevancia, ya que interviene en la delimitación de sus espacios marítimos, de lo cual deriva el carácter geoestratégico que reviste, a la vez que es un tema indispensable de considerar para los países que cuenten con fronteras que van más allá de la superficie continental, al contar con amplios litorales e islas y extenderse hacia el mar, ya que ello permite ampliar su Zona Económica Exclusiva (ZEE), la que sin duda, también constituye la frontera de una nación de conformidad con el Derecho Internacional (Bustamante y Maldonado 2002). En este espacio oceánico, México puede ejercer su soberanía y explotar los recursos que en él se encuentran, así como en los espacios insulares que incluye.

A partir de lo anterior resulta trascendente analizar las islas, en esta caso Isla del Carmen, ubicada en el municipio de igual nombre situado en el estado de Campeche, rodeada de riqueza en recursos naturales, examen que se realiza sobre la base de que se considera que los problemas de la naturaleza y el medio ambiente, en los cuales emergen inconvenientes ocasionados por el accionar humano en sus actividades económicas y la presión que la población ejerce sobre el medio ambiente, son factores que han hecho que contemporáneamente el interés por la relación sociedad-naturaleza se incorpore a los estudios de un lugar como Isla del Carmen que constituye un geosistema.

Complemento para este análisis son las imágenes Landsat³ herramienta útil para la detección de rasgos lineales que permiten comparar superficies contrastadas cuando se hace en diferentes años. Son de utilidad ya que la vista humana tiene limitaciones en lo que a la percepción se refiere. Este tipo de imágenes permite obtener información a distancia de los objetos que se ven en la superficie de la tierra y la identificación del uso del suelo; por lo tanto es una metodología que puede ser aplicada en la estimaciones de transformaciones espaciales diacrónicas (Camargo *et al*, 2005) objetivo del análisis de la zona de estudio de esta investigación, orientada a los cambios en el espacio urbano y en la línea de costa.

Isla del Carmen cobra interés para el examen de un espacio insular humanizado de acuerdo a Baxin (2010) quien considera a las islas espacios que “ponen en juego elementos básicos como: pequeña área, escaso poder político, un lugar con dependencia económica y fragilidad ambiental y en ocasiones aislamiento” el último en este caso no es determinante, ya que ésta isla se encuentra conectada al continente por dos puentes. Cabe señalar que la cuestión del tamaño y otras referentes a su fisiografía son menos importantes que la de la ocupación humana y sus actividades por las afectaciones que ejercen sobre la naturaleza.

Las islas como geosistemas desde una perspectiva geográfica general son paisajes naturales que por sus características y atributos, muestran una gran vulnerabilidad a los cambios, tanto naturales como antrópicos, que pueden asociarse con su estructura, funcionamiento y evolución. Ciertos de estos paisajes están afectados principalmente por una fuerte urbanización que coloniza los lugares más privilegiados y variados, provocando impactos generados por creación de infraestructura que va desde edificaciones para vivienda y servicios, hoteles, parques deportivos, carreteras por citar algunos, lo que conlleva al final a una fuerte degradación del espacio como consecuencia del desarrollo urbano y/o turístico.

Asimismo, dentro de sus territorios las playas ocupan una posición determinante en procesos de erosión. Estas tienen características y morfología muy particular que se debe principalmente a la dinámica que describen a largo y mediano plazo. Están integradas por varios componentes como las dunas, la berma y otros. No obstante, uno de sus elementos más relativos en el tiempo y en el espacio por las modificaciones que se observan en ella y que es parte del objeto de estudio de este trabajo, es la línea de costa, término que refiere la intersección entre el mar y la tierra, este componente de la playa es el que más cambios tiene por origen natural, por fenómenos atmosféricos como: los ciclones, el oleaje, y otros agentes, además por origen antrópico. La línea de costa es un factor importante para establecer el estado físico en que se encuentra una playa, es decir, si está erosionando o si se está acumulando, por lo que para esta investigación, la variación espacio temporal de la línea de costa es fundamental.

² El Territorio Insular Mexicano (TIM) es el término genérico utilizado para reconocer una serie de elementos que forman parte del territorio nacional, conforme al artículo 42 de la Constitución y al artículo 121 (1) de la Convención del Mar (CONVEMAR) constituido por: islas, arrecifes y cayos.

³ El Programa Landsat comenzó en 1972 desde entonces se han puesto en órbita diferentes satélites, la cual dura 16 días en rodear la tierra

Actualmente las actividades en Isla del Carmen giran en torno a la explotación del petróleo, sin embargo le anteceden otras de relevancia que provienen desde la época colonial, como las del aprovechamiento del palo de tinte o campeche y del chicle que le dieron bonanza, más adelante la explotación maderera, a mediados del siglo pasado la pesca del camarón rosado con grandes bancos existentes fue significativa, hasta llegar en la actualidad a obtener una posición estratégica en la economía del país, generada por la explotación del petróleo en sus alrededores. En todas estas actividades la ciudad y el puerto que en la isla se ubican, por cierto de igual nombre que ésta, han desempeñado un papel vital, el desarrollo de la explotación petrolera ha sido generadora de transformaciones en diferentes ámbitos como el espacial, el demográfico y el económico y han propiciado una marcada expansión urbana.

Cabe destacar que debido, en gran medida, a los altos ingresos que entran por Ciudad del Carmen, por la explotación del petróleo, el estado de Campeche al que pertenece, ocupa un lugar relevante en la economía nacional⁴, lo que explica en gran medida el crecimiento de población atraída por las fuentes de trabajo, situación que ha generado el crecimiento espacial con un comportamiento acelerado e irregular que se registra en dicha localidad.

II. PERSPECTIVA DE ANÁLISIS

Al estudiar sistemas territoriales o geosistemas, como sistemas ambientales opera la categoría de *territorio*, sobre el cual se ejerce control político por determinados grupos sociales, con límites jurídicamente establecidos (localidad, municipio, estado, etc) y, *espacio geográfico*, que precisa lo que acontece en la superficie terrestre, resultante de la actividad humana y la herencia de su historia ambiental, dado por la configuración de componentes naturales, sociales, económicos y culturales, diferenciables y distinguibles intrínsecamente por el carácter de la ocupación de los grupos humanos.

El espacio geográfico como totalidad se apoya en elementos que se configuran en la superficie terrestre, relacionados con algún tipo de significación, como las actividades económicas que afectan el entorno con los procesos y fenómenos que sobre el territorio ocurren: paisaje natural, espacio social (Mateo, 2002) o ámbito productivo. La comprensión de los procesos asociados con el funcionamiento de los territorios, en este caso específico de una isla, se explica por medio de la organización que registran, con una conformación estructural de las dimensiones societal y económica, lo que sucede en el contexto de la articulación simultánea de dos totalidades: el sistema humano (ecosistema) y las categorías espaciales (geosistema).

Al analizar a Isla del Carmen debe considerarse como un geosistema de gran complejidad, en el cual se enfatiza la contradicción en las relaciones ecológicas en su expresión universal de crisis, particularizando en la diversidad presente de las manifestaciones locales y regionales, multiplicadas en las diversas aristas deformadas de los ámbitos de relaciones económicas y sociales que se presentan en la génesis de los problemas globales (Bayón, 2013).

Del mismo modo, en función de su principal actividad económica y de acuerdo a Hiernaux (1995) los agentes capitalistas, apoyados en las innovaciones tecnológicas de las comunicaciones, transportes y la hotelería, controlan procesos fragmentados territorialmente e influyen, en tiempo real, en las actividades y el desarrollo de diversos espacios locales a partir de los espacios globales y sus redes, en ese ámbito Isla del Carmen aparece como un lugar de confluencia de lo local con lo global, que ha propiciado el crecimiento espacial.

Para examinar precisamente las modificaciones espaciales derivadas de ese crecimiento espacial la *Percepción Remota* como técnica para análisis del territorio, constituye una de las más importantes herramientas disponible de los últimos tiempos para los estudios de este tipo. No solamente es de gran utilidad en el proceso de investigación en general, sino que es en especial valiosa para detectar los fenómenos y producir mapas de diversas temáticas cuando, como es frecuente, no existen descripciones detalladas de sus efectos y evolución, lo que proporciona que se puedan introducir medidas para reducir los impactos sociales y económicos de desastres potenciales. En este ámbito, la herramienta de las imágenes de

⁴ El estado de Campeche ocupa la 5ª posición nacional en contribución nominal al Producto Interno Bruto, en 2010, a precios corrientes por su contribución al PIB nacional ocupó esa posición con 5.2% de aportación, después del Distrito Federal con 17.2%, Estado de México con 9.4%, Nuevo León con 7.6 % y Jalisco con 6.3%, que constituyen las entidades de mejor desarrollo económico en el país. Y ocupa la 9ª posición analizada a precios constantes, debe su fortaleza al PIB petrolero, que representa el 86% de la economía estatal el 14% restante es PIB no petrolero generado por la economía local (Gobierno Municipal del Carmen Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015).

satélite Landsat, utilizada en este trabajo, permite mostrar de manera objetiva las modificaciones que se han registrado en Isla del Carmen en lo espacial.

A nivel internacional y nacional existen numerosos trabajos que abordan una temática semejante a la expuesta en esta investigación y que utilizaron el Procesamiento Digital de Imágenes como herramienta de análisis para ver las modificaciones en las costas. Entre ellos se tienen el de Ignacio Alonso y el colectivo de autores del Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en el 2007 denominado *“Aplicación de la Fotogrametría a estudios de erosión costera”*, que presenta la evolución del tramo de costa conocido como playas de Sotavento (Fuerteventura, España) desde 1963 hasta la actualidad mediante el análisis de fotos aéreas georeferenciadas. Asimismo está el trabajo realizado por Martínez, 2008 en el sector costero del asentamiento “Playa del Cajío” al sur de la provincia La Habana denominado *“Una Metodología para la determinación de la variación espacio-temporal de la línea de costa, a partir de la clasificación visual de imágenes aeroespaciales”*, donde se evidenció un retroceso de la línea de costa por la actividad antrópica.

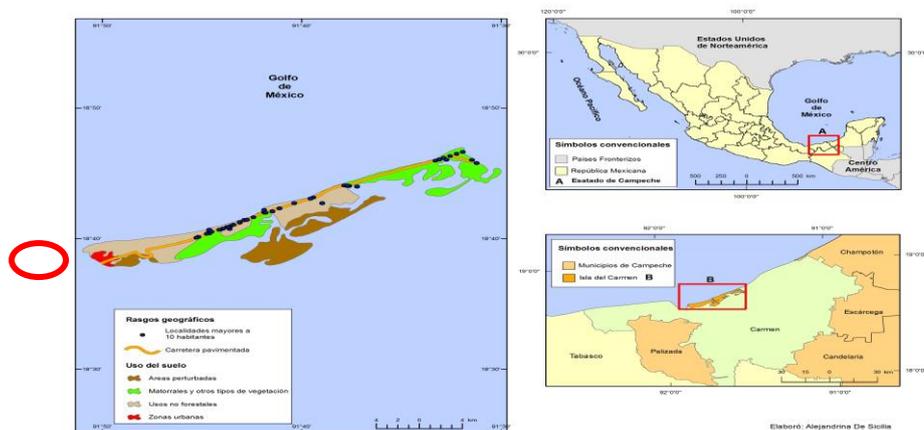
Por otro lado, en función de que en las últimas décadas se observa de manera marcada que las ciudades han estado sometidas a una serie de cambios espaciales asociados a la expansión urbana, la isla del Carmen según diversos informes técnicos no se sustrae de esta situación. Este dinamismo del paisaje urbano agudiza la necesidad de disponer de información cualitativa, georeferenciada y actualizada de estos espacios. Las imágenes de satélite de resolución media constituyen fuentes de información que permiten la obtención de evolución y actualización de estos lugares urbanizados de manera eficiente, rápida y relativamente económica. Su empleo en esta investigación sirvió para la delimitación de la ocupación urbana y su posterior valoración evolutiva en los periodos analizados hasta la actualidad, aunque cabe destacar que la resolución espacial de las imágenes empleadas, la elevada complejidad de la interpretación de las estructuras urbanas dificulta en ocasiones su análisis.

Entre los diversos trabajos al respecto se puede mencionar el realizado por Molina, 2004: *“Propuesta metodológica para estudios de dinámica de uso urbano utilizando la teledetección: Maracay, estado Aragua-Venezuela”*, en el cual realizan el análisis de la dinámica de ocupación del suelo enfatizando, como en este estudio, la utilidad de los procedimientos metodológicos a seguir para este estudio y en la perspectiva de examinar los resultados que se asumió.

Siguiendo estas dos líneas de análisis, la investigación presente pretende retomar estos métodos con el objetivo de evaluar cualitativamente la dinámica de la línea de costa y la ocupación urbana del territorio que servirán como base preliminar de obtención de información del proyecto del cual forma parte esta investigación.

III. RASGOS GEOGRAFICOS

Isla del Carmen en donde se localizan, la ciudad y el puerto de igual nombre, corresponden al municipio del Carmen que se ubica al suroeste del Estado de Campeche, este último junto con los estados de Yucatán y Quintana Roo conforman la Península de Yucatán en México. El municipio del Carmen limita al noreste, con el municipio de Champotón y el Golfo de México; al sur, con el municipio de Palizada y el Estado de Tabasco; y al este, con los municipios de Escárcega y Candelaria. La extensión territorial del municipio es de 12 748 Km², equivalente al 22.4% de la superficie del Estado, que es de 56 858.84 km²; es el segundo municipio del Estado en extensión territorial. (**Figura 1**). La Isla del Carmen se encuentra a su vez en la Laguna de Términos del Golfo de México y en ella se localiza la cabecera municipal de denominación homónima, que a su vez constituye la principal localidad del municipio. Contigua a Isla del Carmen se encuentra Isla Aguada a la que actualmente se encuentra unida por el puente de La Unidad.



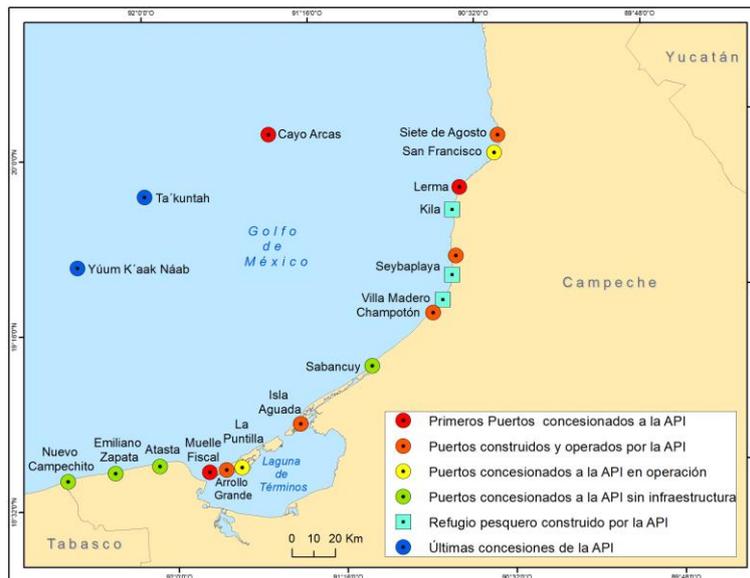
Fuente: elaborado sobre la base de INEGI, 2011.

Figura 1|. Localización del municipio, isla, ciudad y Puerto del Carmen en el contexto nacional, estatal municipal e insular

Isla del Carmen -la más poblada del país- cuenta con un clima cálido-húmedo, la temperatura varía de 25° a 33°C., tiene belleza natural de tipo lacustre y marina de gran potencial turístico complementado con vestigios arqueológicos y por marco natural biodiverso que representa el estar situada en el Área Natural Protegida Laguna de Términos (ANPs) con extensos manglares en donde la vida fluye hacia el mar. Se trata de un importantísimo eslabón en la extensa cadena alimenticia que permite la abundancia de peces en el Golfo de México⁵, dicha laguna es un lugar adecuado para el arribo y reproducción de diversas especies como el robalo, los crustáceos, el camarón, el manatí y las poblaciones de delfines, entre otras, por lo que constituye el sitio en que existe la mayor concentración de delfines del Golfo de México. En esta zona concurren sistemas fluvio-lagunares que, unidos a su alta biodiversidad, la convierten en uno de los humedales más importantes de Mesoamérica. Es una de las ANPs más pobladas en México, lo cual obliga a prestar especial atención a elementos demográficos y socioeconómicos que determinan e influyen en los aspectos ambientales, ya que han rebasado por mucho los límites permitidos en este tipo de áreas. Además, colinda con la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, que forma parte de la mayor cuenca hidrológica del país (CONABIO).

El puerto de Isla del Carmen se encuentra en Ciudad del Carmen, a la entrada de la Laguna de Términos, entre el estero de la Caleta y el Golfo de México, pertenece a la Administración Portuaria Integral, Puertos de Campeche (APICAM), conformada por varios puertos, el que aquí concierne originalmente se denominaba Laguna Azul, fue diseñado y construido para la actividad pesquera, pero modificó su vocación e incorporó servicios logísticos de todo tipo para atender a las numerosas plataformas petroleras costa afuera (API Puertos de Campeche) (Figura 2).

⁵ Históricamente la Laguna de Términos ha tenido una gran relevancia cultural y económica para México. En la época colonial fue la vía de salida para la explotación de maderas preciosas y a partir de 1950 ha sido una de las zonas más productivas de camarón del Golfo de México. Considerada Área Protegida de Fauna y Flora uno de los ecosistemas lagunares estuarinos más extensos e importantes de México, con 159,000 hectáreas de superficie lagunar incluyendo sus sistemas fluvio-lagunares asociados y zonas inundables y 547 000 hectáreas terrestres. Sus sistemas pantanosos o humedales, junto con los de Tabasco, forman la unidad ecológica costera más importante de Mesoamérica por su productividad natural y su biodiversidad que ha favorecido el desarrollo de comunidades vegetales como la selva perennifolia, pastizales, popales, tulares y manglares, por ello, ha ofrecido una amplia gama de alternativas para la práctica de actividades agrícolas y ganaderas. El 2 de febrero de 2004, esta Área ingresó a la lista de sitios Ramsar, distintivo que se otorga a humedales que sean únicos en el mundo y que, además, resulten vitales para la conservación de la diversidad ecológica. Laguna de Términos reúne ambas características (México Desconocido: Areas Naturales Protegidas de Campeche)



Fuente: elaborado sobre la base de API Puerto Isla del Carmen.

Figura 2. Puertos de la Administración Portuaria Campeche (APICAM)

Por su localización geográfica y condiciones favorables a la navegación, desde finales de los años setentas del siglo pasado, Ciudad del Carmen y el puerto ubicado en ella fueron seleccionados para fungir como la principal base de apoyo logístico a las actividades de exploración, perforación, desarrollo de infraestructura marina y producción de hidrocarburos de Petróleos Mexicanos en la región de la Sonda de Campeche y dentro de ella principalmente de la Región Marina Suroeste de México (API Puerto Isla del Carmen). Por ello las plataformas ubicadas en el Golfo de México tienen estrecha relación con el puerto mencionado.

Actualmente el puerto cuenta con tres terminales costa afuera: Cayo Arcas, *Ta Kuntah* y *Yum K'aan Náab*, en su totalidad están a cargo total de Petróleos Mexicanos (PEMEX), y son mantenidas de manera eficiente por la misma empresa. Cuenta con dos remolcadores también propiedad de esta institución.

Isla del Carmen al ser paso obligatorio para quienes por carretera se dirigían a la península de Yucatán, tenía el problema de que el traslado se retardaba, ya que era necesario cruzar el mar en transbordadores denominados "pangas" para poder continuar hacia esa zona, para solucionar este problema en 1984 se puso en funcionamiento en el extremo este de la misma, el puente de la "Unidad", que comunica la población de Isla Aguada con la Isla del Carmen, segundo puente más largo del Estado de Campeche y primer puente que inicia la comunicación de la isla con la península de Yucatán y el resto del Estado. Esta comunicación se complementó, en el extremo oeste de la isla cuando en 1994 fue puesto en funcionamiento el puente "Zacatal", entonces el más largo de América Latina, con una longitud de 3 861 metros y un ancho de 9 metros, transitable en dos carriles por toda clase de vehículos, ubicado en la Carretera Federal 180 Villahermosa-Ciudad del Carmen en el "km 165" cruzando la Laguna de Términos y que une la península de Atasta en el continente con la Isla del Carmen; ambos puentes son de los más transitados del país al tratarse de la entrada a la península de Yucatán, los cuales evitaron el paso retardado a través de las "pangas".

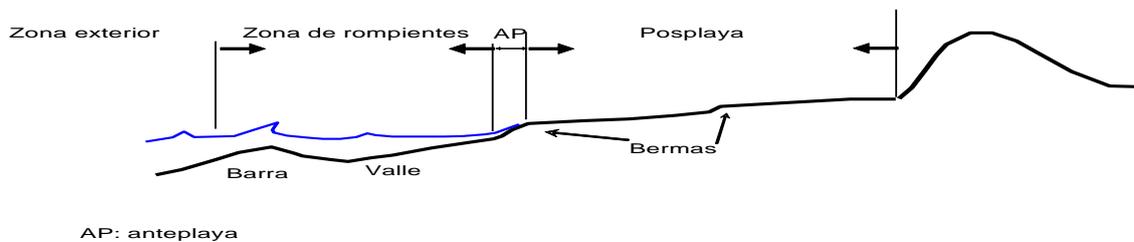
Un aspecto que debe mencionarse que es de importancia para el desarrollo de la isla, es el problema que representan los acontecimientos meteorológicos relacionados con eventos atmosféricos (tormentas tropicales, frentes fríos, huracanes, inundaciones) los que más se destacan durante el año son aquellos que tienen que ver con eventos hidrometeorológicos, ya que son éstos los que generan mayor impacto en las comunidades y la región⁶ (SEDESOL, 2011).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Aspectos de la dinámica costera

Para establecer los cambios en la dinámica costera de la Isla del Carmen hay que partir por definir el concepto *playa* que de acuerdo a criterios de expertos es un ecosistema que está constituido por materiales sueltos de diferente espesor en áreas emergidas y submarinas que manifiesta procesos de erosión y acumulación por alteraciones de origen natural o antrópico, con cambios en la dinámica de su perfil; pertenecen a ella las barras submarinas, las bermas y las dunas (**Figura 3**).

⁶ La isla, ciudad y municipio del Carmen presentan una gran vulnerabilidad ante eventos meteorológicos como huracanes. En 1995 los huracanes Opal, Roxana y Stan más recientemente en 2005 causaron severos daños.



Fuente: Komar, 1976

Figura 3. Perfil de playa. Adaptado a partir de la terminología utilizada para describir el perfil de playa según Komar (1976).

En realidad, los cambios costeros se caracterizan por ocurrir en un amplio espectro de escalas temporales y espaciales diferentes, desde la formación de pequeñas ondas de arena en unas pocas horas, hasta los cambios que ocurren a escalas seculares debido a las fluctuaciones del nivel del mar, fundamentalmente. La *línea de costa (shoreline)* por su parte, es la línea de intersección entre la superficie del mar y las tierras emergidas, es una posición intermedia entre la pleamar (ascenso del nivel del mar hasta alcanzar su máximo, es decir, marea alta) y la bajamar (descenso del nivel del mar hasta alcanzar su mínimo, es decir, marea baja). No es una línea fija, sino que cambia en el tiempo y el espacio. Estos cambios pueden ser a corto o largo plazo y están dados por las mareas, las tormentas o por cambios de origen tectónico o climático. El movimiento de la línea de costa es generalmente el indicador más utilizado de erosión y acumulación de una playa. Los cambios en la posición de la línea de costa han sido medidos utilizando diferentes técnicas. La dinámica de la playa a corto plazo es cuantificada mediante la técnica de perfiles topográficos a través de su sección transversal mientras que los estudios que evalúan la tendencia a largo plazo de la costa se apoyan en mapas y cartas o imágenes aéreas y espaciales.

IV.2. Aspectos de la dinámica del uso del suelo urbano

En este punto el estudio se centra en la obtención de la cobertura del suelo específicamente de la ocupación urbana, con el objetivo de visualizar en tres periodos los cambios ocurridos en la expansión urbana de la Isla del Carmen. Los cambios en las *coberturas y usos del suelo* a que están sometidos los territorios son cada vez más significativos y demuestran las interacciones entre las sociedades y los ecosistemas terrestres y marinos que le sirven de soporte. En diferentes informes y artículos se menciona indistintamente el término cobertura y/o uso del suelo, por lo que es importante referenciar las diferencias conceptuales entre estos dos términos según (Lledó, 2009):

Cobertura del suelo: .."Hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, comprende todos los aspectos que hacen parte del recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural, que sean interpretados y medidos en las fotografías aéreas e imágenes espaciales"...

Uso del suelo: .."Hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre las cubiertas terrestres, es la calificación de todas las actividades realizadas por el hombre sobre el suelo, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla"...

La imagen espacial o satelital es una fuente de información que puede ser útil, tanto como un procedimiento adicional para mejorar información ya existente, como para solucionar los problemas de incompatibilidad de las unidades espaciales geográficas que se generan en diferentes proyectos o informes.

IV.3. Materiales

Para esta investigación se utilizaron 3 imágenes satelitales de la plataforma Landsat; *Path* 021, *Row* 047, resolución espacial de 30 metros con una calidad de 99% y una cobertura nubosa del 25%. Estas imágenes brindan información visual de la cubierta terrestre, en particular de la línea de costa y del área urbanizada de cada uno de los años considerados. A pesar de contar con una resolución mediana, teniendo en cuenta que todas las imágenes que serán procesadas poseen la misma resolución, permite digitalizar estos componentes del espacio geográfico bajo estándares de exactitud y precisión aceptables para una escala de 1:50000, lo cual satisface los objetivos cualitativos de esta investigación (**Tabla 1**).

PLATAFORMA	Sensor	Fecha de Obtención	Banda 1 (nm)	Banda 2 (nm)	Banda 3 (nm)
Landsat-5	TM	1984/30/03	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69
Landsat-7	ETM+	2000/09/04	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69
Landsat-8	OLI	2013/13/07	Banda 4 0.64-0.67	Banda 5 0.85-0.88	Banda 6 1.57-1.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Datos técnicos de las imágenes Landsat empleadas en el estudio.

IV.4 Procedimiento metodológico

Esta metodología sigue el proceso que se presenta en la **Figura 4** que consiste en analizar y comparar por etapas la línea de costa de la imagen satelital Landsat de varios años: 1984, 2000 y 2013, con todas las imágenes georreferenciadas y posteriormente se realiza la clasificación visual de los elementos que identifican la línea de costa y la cobertura del suelo por medio de los rasgos de interpretación mencionados anteriormente, y de conjunto se digitaliza las posiciones de las líneas de costa (de acuerdo al indicador que posteriormente se explica) con el programa Quantum Gis Dufour 2.0.1.. (**Etapa I**) Esa vectorización es llevada al paquete de procesamiento estadístico utilizando la herramienta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System* o Sistema de Análisis Digital de la Línea de Costa) que permite, a través de los métodos estadísticos, realizar los cálculos para determinar si ha habido cambios cuantitativos y cualitativos en la posición de la línea de costa en el período de estudio de acuerdo a la precisión de la incertidumbre total de las imágenes para la digitalización.

En este punto se superponen todos los vectores de la línea de costa y los polígonos de la ocupación urbana para realizar una evaluación cualitativa final de los cambios observados para los años analizados.

IV.4.1 Selección del indicador de la línea de costa.

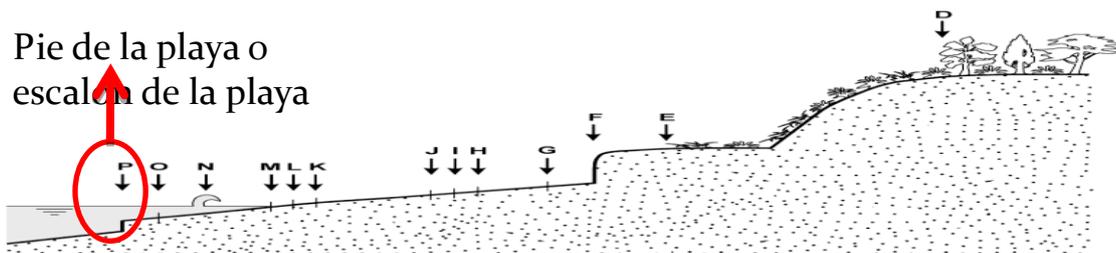
Debido a la naturaleza de la dinámica de la costa, los investigadores costeros han adoptado, a efectos prácticos, el uso de indicadores de línea de costa. Un indicador de línea de costa es un rasgo que se utiliza para representar la "verdadera" posición de línea de costa, Boak y Turner, (2005) realizaron un análisis extenso de estos, autores que consideran e ilustran de acuerdo a como se presenta en la **figura 5** las relaciones espaciales existentes entre los indicadores de la costa más comúnmente utilizados. Los indicadores individuales de costa generalmente se dividen en dos categorías.



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Procedimiento metodológico.

El primer grupo incluye aquellos rasgos costeros visualmente discernibles, mientras que en el segundo grupo se encuentran aquellos basados en un *datum* o nivel de referencia específico de marea. Un indicador visual perceptible (véase figura 5) es un rasgo que puede ser visto físicamente, por ejemplo, la marca o huella de la última marea. Por el contrario, un indicador de línea de costa basado en un *datum* de marea se determina por la intersección del perfil costero con un plano de la marea, por ejemplo, el nivel de pleamar (MHW) o el nivel medio del mar. Como se dijo anteriormente existen varios indicadores para determinar la línea de costa, para este trabajo se escogió el indicador -Pie de la playa-, porque es el que mejor se aprecia por la calidad y resolución de las imágenes satelitales, y de esta manera tener en cuenta la variación entre los



pixeles que forman la frontera, lo que permite tener un margen de error aproximado al tamaño del pixel.

Fuente: Adaptado a partir de la Terminología utilizada según Boak y Turner, (2005).

Figura 5. Esquema de la posición de los indicadores. Adaptado por las autoras.

IV.4.2 Criterios de clasificación visual de las imágenes satelitales

Los criterios visuales deben manejarse con cierto rigor de manera que garantice la precisión y exactitud establecida, requiere de mucha especialización y gran conocimiento del terreno (**Etapa 2**).

El intérprete examina cada elemento de la imagen en tres sentidos: individualmente en relación con otro elemento, y en relación con todo el patrón de la imagen. El éxito de una interpretación visual depende de varios factores (Martínez, 2008):

1. Experiencia y entrenamiento del intérprete en la temática y área de estudio.
2. La naturaleza del fenómeno que se analiza.
3. La calidad de la imagen.

El proceso de clasificación visual de imágenes espaciales se rige por una estructura lógica que incluye varias etapas. Si esta actividad se analiza como un proceso cognoscitivo de la realidad objetiva, se delimitan tres etapas escalonadas en el proceso de adquisición de la información, (Álvarez *et. al*, 2001):

- 1^{ra}. Localización de los objetos
- 2^{da}. Reconocimiento o identificación de los objetos
- 3^{ra}. Interpretación de los objetos

Entre los términos o criterios visuales manejados en teledetección espacial existen: tono, textura, estructura, sombras, contexto, algunos son comunes para la fotografía aérea y las imágenes espaciales, otros son más propios de las imágenes espaciales, principalmente en cuanto a la dimensión multi-espectral y multi-

temporal de las observaciones, limitada en la fotografía aérea. En sentido general todos estos criterios visuales deben ser manejados con cierto rigor garantizando la precisión y exactitud establecida. Los criterios de clasificación visual pueden agruparse en una escala jerárquica, en función de su grado de complejidad y de las variables que se consideren, ver **figura 6** (Chuvieco, 2000).

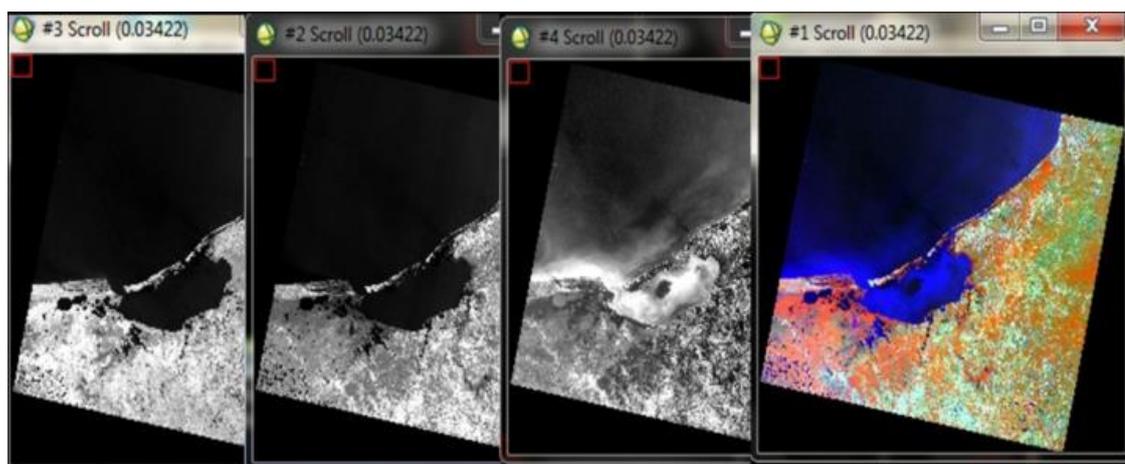


Fuente: **Adaptado** de Chuvieco, 2000.

Figura 6. Organización jerárquica de los criterios de clasificación visual.

El tono y el color fueron los criterios más importantes, ya que caracterizan espectralmente a una cubierta. El *tono*, en la representación de los objetos, es el criterio más empleado en la clasificación mediante el PDI. En las imágenes espaciales la variedad cromática de los componentes de la superficie depende de la banda espectral perteneciente al sensor que la haya captado. Para esta investigación sobre la Isla del Carmen se trabaja con las imágenes del **Landsat** con una combinación de bandas RGB (del inglés *Red Green Blue* o Rojo Verde Azul) color real o color natural (**figura 7**). Los objetos del terreno reflejan con diferente intensidad la luz solar en cada zona espectral. El tono es un rasgo muy variable en las imágenes espaciales ya que depende de muchos factores, algunos de ellos son:

- El color del objeto o capacidad reflectora del mismo.
- Las características de la iluminación solar en el momento de la toma.
- El ángulo de observación del sensor.
- Las sombras proyectadas sobre el objeto.



Fuente: elaboración propia a partir del procesamiento en programa Envi 4.7.

Figura 7. Bandas 5, 6 y 4; combinación de color falso para imágenes Landsat 8.

La forma, tamaño y textura tienen que ver con las propiedades espaciales de los objetos. Estos criterios, para la metodología son de vital importancia, con ellos se facilita el reconocimiento de algunos rasgos particulares, como es el caso de las carreteras en comparación con el ferrocarril, de trazado menos sinuoso, o de los ríos frente a los canales artificiales, que ofrecerán un aspecto más geométrico. La forma de representación en las imágenes de los objetos es un rasgo directo, mediante el cual se logra la determinación de varias propiedades y características. El sistema de observación visual, destaca primeramente la configuración (contorno) y forma de los objetos. Las formas regulares en las imágenes que se observan con una geometría bien trazada y organizada espacialmente corresponden en la mayoría

de los casos a objetos creados por el hombre; o sea, son de carácter antrópico; mientras que las formas irregulares y desordenadas pertenecen a rasgos o elementos naturales. Las formas indefinidas (rasgos naturales), suelen seguir rasgos lineales (ríos, fronteras de cubiertas y dunas), puntuales (arbustos aislados, conjunto de árboles, rocas de grandes dimensiones, entre otros) y areales (herbazales, cultivos, bosques, entre otros).

La textura, se refiere a la rugosidad o suavidad de una cubierta dada, que representa una región de la imagen, quedando expresada por la frecuencia de los valores de contraste entre los elementos que la componen. La textura de la imagen procede de la relación entre el tamaño de los objetos y la resolución del sensor. En resumen, es la variabilidad espacial de dichos rasgos. De esta forma se puede tener en cuenta que este criterio, textura, diferencia los elementos agua y tierra, ya que el agua se puede observar por lo general con una textura homogénea, mientras que la tierra va a presentar una diferenciación considerable en este sentido.

Como otro de los criterios indirectos a tener en cuenta para la clasificación visual, se tiene la variación temporal, que hace referencia a la evolución estacional de las cubiertas. Cuando se pretende realizar un análisis multi-temporal se pudiera abordar con una doble orientación (Chuvieco, 2000):

- Primero, con el objetivo de detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo de ahí la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio. Este enfoque pudiera denominarse multi-anual, ya que se utiliza el factor tiempo para seguir la evolución de una zona.
- Segundo, podría hablarse de un enfoque multi-estacional, en donde la dimensión tiempo se emplea para perfeccionar la interpretación de la imagen, ya que incorpora información estacional de los objetos de la superficie, con el objetivo de seleccionar los periodos más representativos para su análisis. Este criterio queda exento de esta investigación, debido a que los objetivos quedan realizados a nivel anual para el estudio dinámico.

IV.4.3 Vectorización de la línea de costa y zona urbanizada.

Los procedimientos para la vectorización de la línea de costa de la Isla del Carmen se llevaron a cabo por dos métodos; uno se realizó por medio de la digitalización manual directo en la imagen a partir de la interpretación visual del indicador para identificar la línea de costa y otro con los criterios de ocupación de la zona urbanizada siguiendo el método tradicional y además se hará la detección automática de la línea de costa a escala del pixel según el método propuesto por Pardo *et. al*, 2012, con el objetivo de comparar los resultados por ambos métodos y aumentar la confiabilidad de la valoración de la posición de la línea de costa.

El método tradicional lo conforman un conjunto de técnicas aplicables desde los propios Sistemas de Información Geográfica, que responden a la digitalización de tres datos vectoriales: puntos, líneas y polígonos. Es en este caso en el que se utiliza el software libre Quantum Gis Dufour versión 2.0.1 de forma manual. Esto se realiza en conjunto con la interpretación visual del objeto de estudio que constituye la línea de costa de la Isla del Carmen y la zona ocupada por la ciudad del Carmen.

La vectorización de la línea de costa se debe realizar teniendo en cuenta el indicador escogido y siguiendo los requisitos que a continuación se exponen:

- Hacer zoom sobre la imagen hasta hacer visible el pixel y luego digitalizar manteniéndose dentro del tamaño del pixel.
- Se debe dibujar el vector de la línea de costa mediante la herramienta de polilínea, para lograr una correcta descripción de la línea de costa por ser este un elemento principalmente lineal y para la zona urbana emplear la herramienta de polígono.
- El estilo de la polilínea y el polígono debe ser continua y de ancho 0.1 mm, de manera tal que se logre definir correctamente el objeto de estudio y disminuir el margen de error por el grosor de la línea.
- Establecer colores para cada línea de costa clasificada que resalten sobre el fondo de la imagen y diferenciarlos de forma marcada, así como para los polígonos de la zona urbanizada.

Para el caso de la detección automática de la línea de costa se tomaron en cuenta los primeros pasos propuestos en el algoritmo de Pardo *et. al*, 2012, para ello el método se fundamenta en la diferenciación de las respuestas espectrales que tienen el agua y el suelo y teniendo en cuenta que esta frontera tiende a disponerse como una línea bastante homogénea y quasi-rectilínea principalmente en zonas de playa. Sobre esta base se propone un procedimiento que posibilite obtener la posición de la línea sobre imágenes de resolución media a baja como es el caso de las imágenes *Landsat*.

El proceso consiste de dos fases:

1 en la primera parte se determina el mejor umbral en la imagen que diferencie los dos medios; tierra, agua, se toma la muestra más significativa

2 en la segunda posteriormente se obtiene la imagen binarizada se le aplica una máscara y de esta manera se obtiene una línea de intersección que se aproxima a la línea de costa a escala del pixel.

IV.4.4 Incertidumbre en las mediciones

Cabe señalar que las líneas de costa extraídas de las fotos aéreas e imagen satelital de la Isla del Carmen arrastran un error posicional que tiene su origen tanto en el proceso de corrección geométrica como en las características propias del indicador de línea de costa utilizado en este trabajo (**Tabla 2**).

Tipos de errores	Magnitud del error (m)		
	1984	2000	2013
Por posición del indicador	15	15	15
Por error en la digitalización	30	30	30
Incertidumbre total	22.5	22.5	22.5

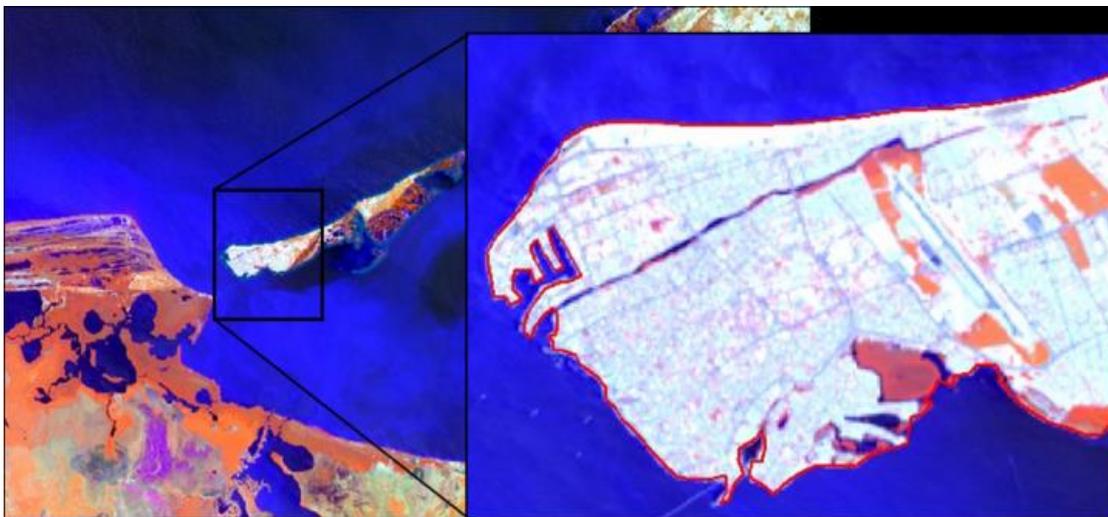
Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Relación de incertidumbre en las mediciones.

V. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

A partir del Procesamiento Digital de Imágenes (**Etapa 3**) se realizó la combinación de bandas respectivamente en cada una de las imágenes espaciales 1984, 2000 y 2013, sobre la base de los informes y artículos revisados y luego de varias combinaciones se determinó trabajar con la combinación (RGB; 321) o color natural para las imágenes del *Landsat 5* y *7*, y la combinación (RGB; 564) de falso color para la imagen *Landsat 8*. Estas combinaciones fueron seleccionadas porque delimitan con nitidez los elementos a interpretar en la imagen.

Posteriormente se realizaron varias aproximaciones para clasificar ambos elementos de conjunto, se fueron digitalizando los vectores lineales y de polígonos para cada año de estudio a partir de los criterios antes mencionados. En la **figura 7** se puede observar una macrolocalización de la zona noroeste de la Isla del Carmen donde está asentada la ciudad de igual nombre, sobre la combinación de falso color de la imagen para el año 2013 de conjunto con la vectorización en rojo de la línea de costa, en la misma se puede apreciar la clara diferenciación entre el suelo que se observa con tonalidades del blanco al azul muy claro celeste y el agua con tonalidades en azul oscuro, estos criterios del color y la tonalidad permitieron realizar una favorable interpretación visual de la línea de costa. Se tuvo en cuenta la delimitación de la posición de la



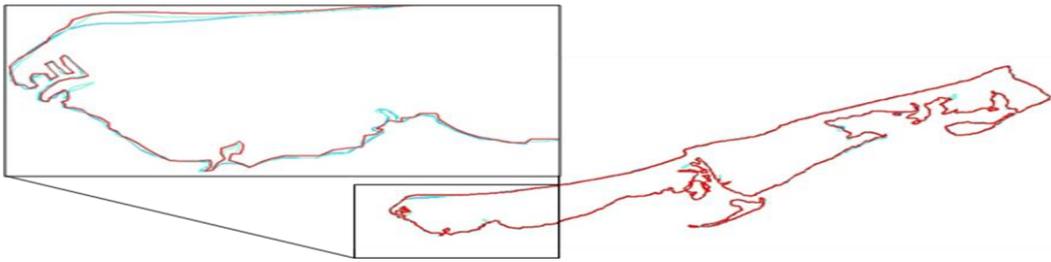
línea de costa a escala del pixel.

Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento en programa Envi 4.7.

Figura 7. Macrolocalización de la vectorización de la línea de costa sobre la imagen Landsat 8 (2013).

A continuación en la **figura 8** se pueden observar las líneas de costa digitalizadas para cada año, luego de superponer las tres líneas se detectan muy pocos cambios en las posiciones a lo largo de toda la isla. Se realizó una macrolocalización del área observada con mayores cambios y que posteriormente mostró en la detección automática que coincidieron las áreas. En un reconocimiento de la zona este espacio coincide con una porción de la playa, la cual se ha encontrado expuesta a varias acciones antrópicas invasivas que han causado impacto en las estructuras de la duna. Además de ello se observa en la imagen que en esa porción existe un fuerte movimiento de la circulación de las aguas que fluyen hacia la Laguna de Términos y que por la posición de la isla de conjunto con la superficie continental forman un canal por lo que al estrecharse el

área de circulación de las aguas y por la dirección de las mismas se ha ido formando una acumulación de residuos sólidos por lo que la posición de la línea de costa ha sufrido cambios por la morfología de la propia playa en ese espacio.



Fuente: Elaboración propia a partir de los vectores obtenidos en cada imagen.

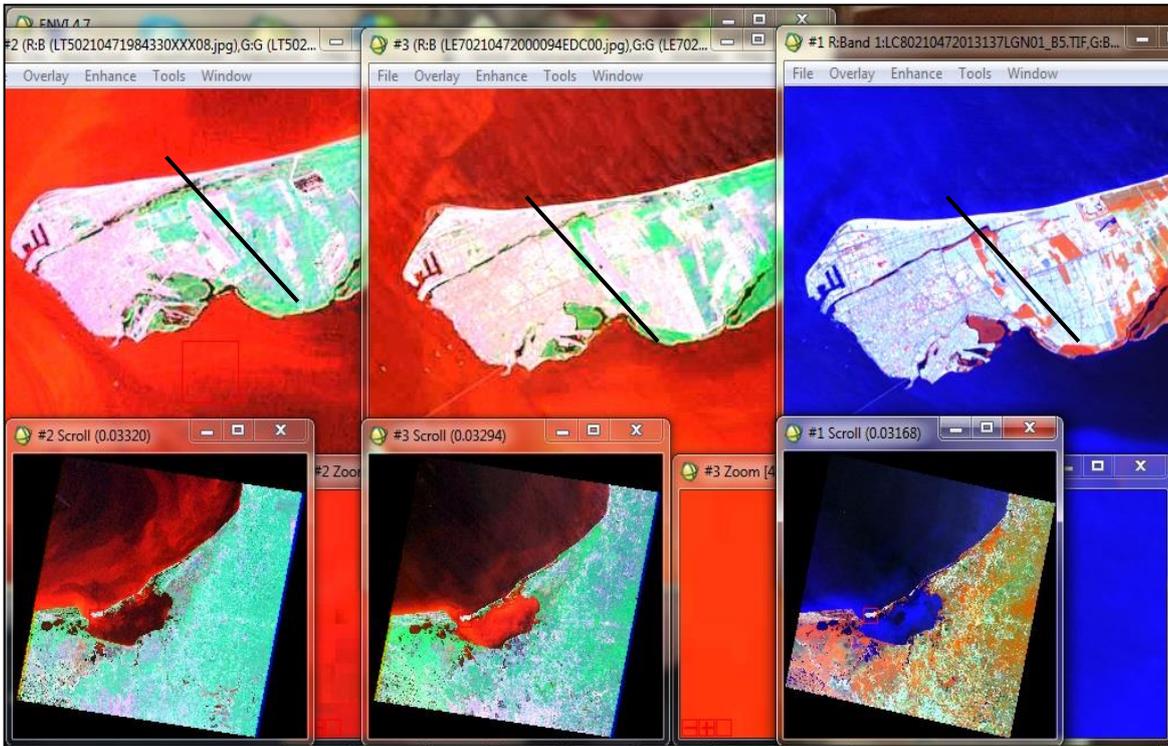
Figura 8. Macrolocalización de la superposición de las líneas de costa de cada año (1984,2000 y 2013).

Posteriormente se clasificaron las áreas urbanas y se fueron digitalizando de conjunto con la interpretación visual. Para ello se emplearon las mismas combinaciones utilizadas en la interpretación de la línea de costa por la claridad con que se aprecian diferenciadamente las zonas urbanizadas de la vegetación local. En la **figura 9** se puede visualizar el área más urbanizada de la isla en los tres años estudiados, se observa el crecimiento de la ciudad a partir de la disminución paulatina de las zonas verdes o de cobertura vegetal.

Se aprecia el aumento del tejido residencial, a partir de los elementos lineales al interior de las áreas ocupadas referentes a los viales y manzanas que conforman la ciudad. Es posible visualizar el incremento de las vías principales de comunicación entre la Isla y el continente entre los años 1984 y 2000 a partir de la diferenciación de tonalidades de los píxeles que describen un objeto lineal desde la isla hacia el territorio continental atravesando el canal de entrada a la laguna de Términos. Problema social de la primera década del siglo XXI en la localidad principal de la isla, Ciudad del Carmen, han sido indudablemente, las constantes invasiones a predios particulares, ejidales y del Área Natural Protegida con asentamientos irregulares. Muchas familias, atraídas por el espejismo petrolero, arribaron a la localidad desde finales del siglo pasado, aventurándose a conseguir un empleo, y al no lograr su propósito se sumaron a la fila de desempleados. Obvia era la necesidad de conseguir un sitio donde pudieran vivir. Así, con este pretexto, se produjeron las invasiones de terrenos y surgieron bajo esta clandestinidad muchas otras colonias a las ya existentes y se crearon además fraccionamientos cerrados (Gobierno Municipal del Carmen Plan Municipal de Desarrollo 2009-2012). De manera que se ha registrado una expansión urbana irregular, en donde el límite permitido era el aeropuerto (marcado en la **figura 9** con una línea negra), sin embargo lo ha sobrepasado ampliamente

El acelerado crecimiento demográfico que experimenta Isla del Carmen, sobre la localidad homónima, obedece al fuerte desarrollo de la actividad petrolera y sus servicios asociados, la cual, no obstante que se desarrolla en la plataforma marítima denominada Sonda de Campeche, produce sus principales efectos socio demográficos y económicos en la Isla del Carmen.

No obstante lo anterior, Ciudad del Carmen en Isla del Carmen, es para algunos, la capital económica del Estado de Campeche, por su aportación al PIB Estatal. A su vez el municipio del Carmen ha contribuido de manera significativa al crecimiento económico del estado, pero esto no ha sido congruente con la realidad socioeconómica que vive la sociedad carmelita, ya que en varios sectores de la localidad existen rezagos sociales y un atraso en el desarrollo urbano y de servicios, asimismo, no obstante el desarrollo económico derivado del petróleo en la zona, dicha importancia, tampoco se refleja en el desarrollo de la entidad

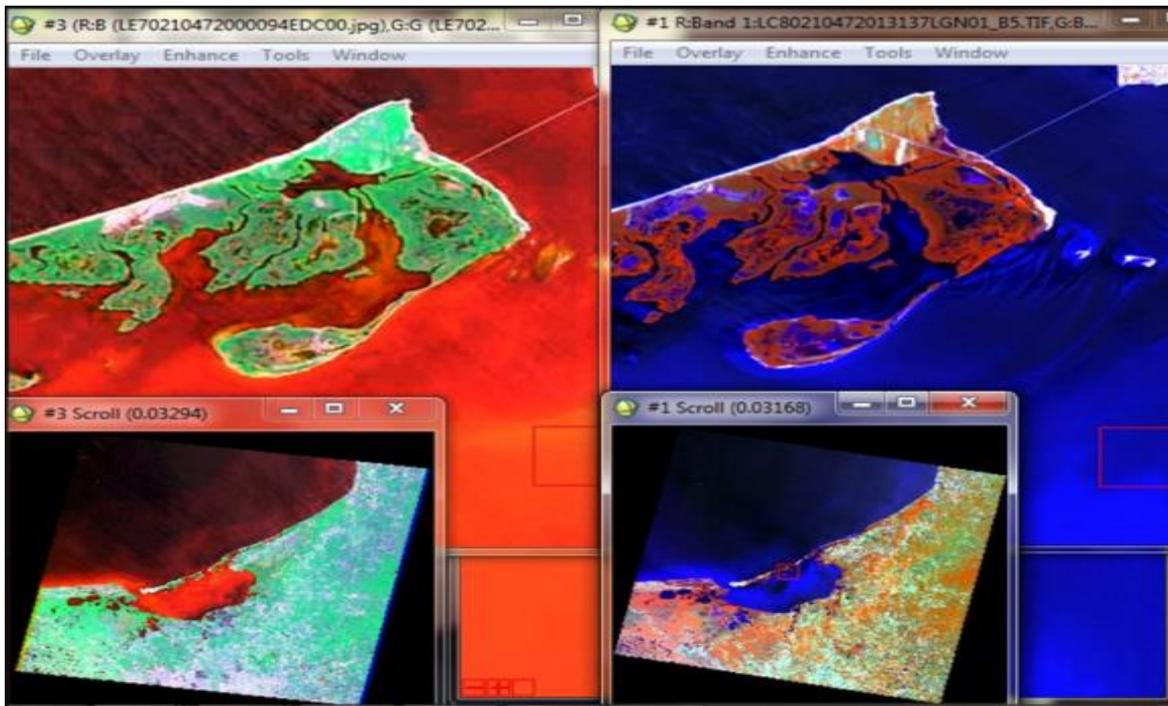


Fuente: Elaboración propia a partir del procesamiento en programa Envi 4.7.

Figura 9. Secuencia de Macrolocalización del sector de mayor cambio de la zona urbanizada de las imágenes 1984, 2000 y 2013 respectivamente.

En otro sector de la isla al este, se pueden observar transformaciones en la morfología, entre los años 2000 y 2013 una porción de la parte interior que limita con el acuatorio de la Laguna de Términos se separó de la superficie que corresponde a la isla, aunque no se aprecian espacios de transformaciones antrópicas en esa área, al perder comunicación terrestre con la misma, es un terreno que presumiblemente se encuentra expuesto al riesgo de desaparecer o erosionarse (**figura 10**).

Luego de realizada la interpretación y digitalización manual y automática de los objetos de estudio, se superpusieron los vectores por cada elemento y se determinaron por métodos estadísticos mediante las herramientas del software empleado los movimientos ocurridos en la serie de tiempo estudiada. Los resultados obtenidos, partiendo de la incertidumbre total de las mediciones calculada aproximadamente demuestran aparentemente en la Isla del Carmen pocos desplazamientos en la línea de costa, con un solo sector con acumulación considerable por deposición de material arenoso, en contraste se observa una expansión en constante crecimiento de la zona urbanizada desde 1984, así como pequeños cambios morfológicos del territorio insular por fragmentación.



Elaboración propia a partir del procesamiento en programa Envi 4.7.

Figura 10. Macrolocalización de la porción que se fragmentó al este de la isla entre 2000 y 2013 a partir de las imágenes respectivamente.

VI. CONSIDERACIONES FINALES

México registra una posición estratégica al contar con excelente posición geográfica con amplios litorales y zonas marinas, en estas últimas tiene importantes yacimientos de petróleo en el Golfo de México que le convierten en un país altamente competitivo en los aspectos marítimo y energético.

En este contexto las numerosas islas con que cuenta resultan relevantes tanto para ampliar la Zona Económica Exclusiva o para delimitar las fronteras marítimas.

De lo anterior resulta el interés por analizar Isla del Carmen, la más poblada del país, que ha registrado importantes acontecimientos históricos, sociales, económicos y ambientales, el más reciente el descubrimiento de yacimientos de petróleo en la zona de explotación de hidrocarburos en la cercana Sonda de Campeche, factor que incide en transformaciones significativas en su territorio con un impacto sin precedente especialmente por expansión urbana.

La Isla del Carmen en su totalidad constituye una Área Natural Protegida que se ha visto afectada por el crecimiento de población extendiéndose más allá de los límites permitidos para este tipo de espacios.

Existen diversos trabajos que emplean las herramientas de la teledetección y los SIG para solucionar estudios sobre la cobertura terrestre.

En el caso del estudio de la línea de costa existen varios métodos a partir de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de alta resolución en la generalidad de ellos, no obstante hay un creciente procedimiento de emplear las imágenes de resolución media como las imágenes Landsat que garantizan una cobertura espacial de carácter global, con un volumen de datos suficiente para integrar todas las posibilidades de cambios bajo condiciones homogéneas de análisis, con una frecuencia mayor al mes.

Lo anterior permitió garantizar el nivel de precisión requerido para determinar la posición de la línea de costa por medio de varias aproximaciones y de forma automática para atenuar los errores de posicionamiento y por resolución media.

Lo interesante de esta aplicación, es que se pudo realizar un estudio preliminar del estado evolutivo y actual de la Isla del Carmen con un grado de precisión y exactitud adecuado de acuerdo a la calidad y resolución de las imágenes en función de su dinámica territorial orientada hacia la línea de costa y la zona urbanizada. Además, los resultados de la investigación permitirán hacer otros análisis e investigaciones en el territorio, lo que posibilitará implementar y tomar decisiones encaminadas al desarrollo del territorio y sus habitantes.

Los resultados demuestran en la Isla del Carmen pocos desplazamientos en la línea de costa, con un solo sector con acumulación considerable por deposición de material arenoso, por el contrario se detecta una expansión en constante crecimiento de la zona urbanizada desde 1984, así como pequeños cambios morfológicos del territorio insular por fragmentación.

La expansión urbana se ha ampliado de manera irregular más allá de los límites permitidos con afectaciones notables sobre el Área Natural Protegida que constituye la totalidad de la isla.

Los objetivos cumplimentados en este análisis servirán de base para otras investigaciones dentro del proyecto que forma parte, como por ejemplo los estudios de impactos en el desarrollo económico y para el desarrollo del turismo, entre otros trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

- Administración Portuaria Integral API Isla del Carmen Consulta abril 2014. Disponible en: http://www.puertoisladelcarmen.com/sitioweb/index.php?option=com_content&view=article&id=103&Itemid=106
- Administración Portuaria Integral API Puertos Campeche. Consulta marzo 2014. Disponible en: <http://www.puertosdecampeche.mx/files/pmdp%201318%20apicam>
- Alonso, I, Cabrera, L.L., Jiménez, J.A, Valdemoro, H.I., Sánchez, I, (2007). “Aplicación de la fotogrametría a estudios de erosión costera” en: *Actas del XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria Mar del Plata, Argentina, 2007.
- Álvarez, R. et. al. (2013) “La fotointerpretación (clasificación) de imágenes de percepción remota. Metodología para la creación y actualización de la cartografía temática del sistema de información del proyecto GEF/PNUD CUB/92/g31.102 mediante percepción remota (PR) y sistema de posicionamiento global (GPS). Curso: “Fundamentos de la Percepción Remota y del Procesamiento Digital de Imágenes en: *70 Años del Instituto de Geografía*, Universidad Nacional Autónoma de México, México. ”. pp. 174-187.
- Baxin, I. (2010). *La Isla de Cedros en el contexto insular del Pacífico Mexicano: un estudio desde la geografía cultural*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Bayón, P. (2013). “La Geografía –como ciencia y enseñanza- en la percepción de riesgo por peligros naturales en el contexto cubano” en: *XV Encuentro Internacional Humboldt “Geografía y Crisis”* del 9 al 13 de septiembre de 2013, Instituto de Geografía, UNAM y Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística y Centro Humboldt. México.
- Boak, E.H. y Turner, I.L. (2005). “Shoreline definition and detection: a review” En *Journal of coastal research*, n° 21 (4), 688-703. School of Civil and Environmental Engineering University of New South Wales King Street, Manly Vale NSW 2093, Australia
- Bustamante y Maldonado (2002). “Delimitación de Espacios Marítimos” en: *Notas Revista de Información y Análisis*, Num.19, Año 2002. pp. 37 - 45, México
- Camargo, E., Bernardo, T. Miura, L., Sugawara, B. y Carrasco, P. (2005). “Imágenes Landsat y CBERS en la identificación del uso del suelo con cultivos agrícolas” en *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 41-48.
<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.18.12/doc/Ervin.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) *Reserva Laguna de Términos. Consulta abril 2014, Disponible en:*
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/terminos.html>
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. reimpresión corregida Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España.
- Gobierno Municipal del Carmen Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015 Ayuntamiento, Consulta mayo 2014. Disponible en:
http://www.carmen.gob.mx/_Ayuntamiento/PMD%20Carmen%20BookFinal.pdf
- Hiernaux, D. (1995). “La región insoslayable” en: *Eure*, Vol. XXI, n 63, Junio. Santiago de Chile. Instituto de Estudios Urbanos. PUC. Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). *Censo General de población y vivienda, 2010*. México. Consulta abril 15 de 2014. Disponible en:

<http://www.censo2010.org.mx>

- Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall Englewood Cliffs. N.J. Quinta edición. 417 pgs.
- Lledó M. (2009). *Análisis espacio temporal de la línea de costa, la cobertura vegetal y el uso del suelo en la Coloma a partir del procesamiento digital de imágenes* tesis presentada para obtener el título de licenciatura, Universidad de La Habana, Cuba.
- Martínez, A. (2008). *Una metodología para la determinación de la variación espacio-temporal de la línea de costa, a partir de la clasificación visual de imágenes aéreas-espaciales*. La Habana (inédito).
- Mateo Rodríguez, J. (2002): *La dimensión espacial del desarrollo sostenible: una visión desde América Latina*. Editorial Científico-Técnica, La Habana; (p. 231), 293 pp
- México Desconocido: *Áreas Naturales Protegidas de Campeche*. Consulta abril 15 de 2014 Disponible en: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/areas-naturales-protegidas-campeche-laguna-terminos.html>
- Molina, G. (2004) "Propuesta metodológica para estudios de dinámica de uso urbano utilizando la teledetección: Maracay, estado Aragua-Venezuela" en: *Revista Geográfica Venezolana* Volumen 46 Numero 2 pp 195-234 Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Mérida Venezuela
- Ojeda, J. (2001). *Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuestas*. Universidad de Sevilla. Boletín de la A. G. E nro. 30-2000. pp. 103-118. España.
- Pacheco, H. y Suárez C. (2004) *Mediciones fotogramétricas para determinar variaciones de la posición de la línea de costa en el cordón litoral de la laguna de Unare, estado de Anzoátegui, Venezuela*. Instituto pedagógico de Caracas. Venezuela. Acta científica venezolana 55 nro. 2, pp. 97-106.
- Pardo J. E., Ruiz I. A., Almonacid J. y Calaf X. (2012). "Detección automática de cambios en la línea de costa a partir de imágenes de satélite de resolución media" en: *IX congreso nacional TOP-CART*, Valencia, España.
- Secretaría de Desarrollo Social. (SEDESOS) (2011). "Prevención de Riesgos en los Asentamientos Humanos México" en *Atlas de Peligros Naturales del Municipio de Carmen 2011*, http://www.carmen.gob.mx/transparencia/web/Ayuntamiento/2013/OB23/ATLAS_DE_PELIGROS_CAR MEN_2011.pdf

IMÁGENES LANDSAT

Imágenes satelitales Landsat de la plataforma Landsat 5, 7 y 8 **Path** 021, **Row** 047 de fechas 1984/30/03, 2000/09/04 y 2013/13/07 de Isla del Carmen con procesamiento en programa Envi 4.7.