



Universidad Nacional Autónoma de México
Posgrado en Geografía
Facultad de Filosofía y Letras
Instituto de Geografía

**Pérdida del grado de naturalidad de la Costa del
Caribe Mexicano por Impacto de la actividad
turística: Perspectiva frente al Cambio Climático.**

Capítulo de libro en Cambio Climático: Adaptación y
Mitigación hacia Agendas Siglo XXI, 2015.

Para optar por el grado de:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

MAGDIEL LYDIA BARRIOS RODRÍGUEZ

Tutor:

Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez

México, D.F., Diciembre de 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Capítulo 9. PÉRDIDA DEL GRADO DE NATURALIDAD DE LA COSTA DEL CARIBE MEXICANO POR IMPACTO DE LA ACTIVIDAD TURÍSTICA: PERSPECTIVA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Magdiel Lydia Barrios Rodríguez, Mario Arturo Ortiz-Pérez,
José Manuel Figueroa MahEng

Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM,
Ciudad Universitaria s/n. Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México DF, México

Resumen

Este trabajo responde a la necesidad de una perspectiva integral que considere la pérdida de naturalidad del paisaje costero, frente a los escenarios del cambio climático global y el impacto antropogénico de la actividad turística. Se presentan los resultados de la evaluación del grado de naturalidad del paisaje de las nueve regiones de la costa del Caribe Mexicano, calificando el grado de impermeabilización (*Gi*) y el grado de rigidización (*Gr*), en el que se utilizó valores previamente establecidos en una escala que representa la intensidad decreciente del grado de naturalidad del paisaje. Se utilizó una cuadrícula de análisis con un tamaño de celda de una hectárea por cuadro, desplegada en Arc2Earth™ en el sistema de información geográfica ArcGis™ v. 10.2.2. Los resultados muestran que la alta densificación de las infraestructuras (de abrigo, protección costera y portuaria), el equipamiento y desarrollos turísticos, obstruyen la funcionalidad y dinámica del paisaje, principalmente los desarrollos turísticos de Cancún y Playa del Carmen, así como también modelos localizados de desarrollos puntuales, pero con un efecto acumulativo de mayor extensión. Por otra parte, el ambiente de humedales costeros, prácticamente inaccesibles son los que mantienen su grado original de naturalidad, específicamente las Bahías de Sian Ka'an.

Palabras clave: Naturalidad del paisaje, rigidización, impermeabilización, cambio climático global, infraestructura turística.

Introducción

La costa del Caribe mexicano ha sido considerada como uno de los subsistemas ambientales de la zona costera, de mayor importancia y fragilidad en la costa Atlántica de México, con condiciones físico ambientales únicas para un sistema biocomplejo sur oriental del país (Yáñez-Arancibia y Day 2004). El desarrollo socio económico de estas costas se ha desarticulado a ritmo acelerado, lo cual se ve magnificado por los impactos que induce el cambio climático, particularmente severo en los litorales con humedales costeros (Day et al. 2008). Más aún, cuando ha sido establecido que, tanto el Caribe mexicano como el Golfo de México como mega sistema asociado, son específicamente vulnerables al ascenso del nivel del mar, a la erosión de los litorales, a la frecuencia de tormentas tropicales severas y huracanes, y a la arritmia en los patrones de lluvias *versus* sequías, entre otros (Day et al. 2012, 2013, Ortiz-Pérez et al. 2013, Rybczyk et al. 2013).

El cambio climático global enmarca escenarios de peligros inducidos, en mayor medida, por las actividades humanas. Las estimaciones relativas del IPCC (2014), proyectan un incremento promedio global de 0.89 °C (entre 0.69 y 1.08 °C) en el periodo 1990-2100. Basados en estas proyecciones, el nivel medio del mar se estima con un incremento de 0.26-0.81m para finales del siglo XXI, o más de 1m como lo señalan Day et al. (2012). En ese sentido las zonas costeras, se enfrentan a desafíos particulares, específicamente la zona costera del Caribe Mexicano y del Golfo de México (Day et al. 2013).

Ante este escenario, se reconoce que una importante problemática se manifiesta directamente en la pérdida de naturalidad a nivel de paisaje en la zona costera. Si bien una de las causas directas de ello es el cambio de uso de suelo, a este proceso, se suma la dinámica de apropiación, ocupación y transformación del espacio costero por la actividad turística, dado que estas prácticas sociales configuran en términos de escala y dimensión una nueva estructura espacial en la zona costera (Macedo 2002).

En la mayoría de los casos comienza la ocupación y transformación en las playas por la infraestructura hotelera y residencial turística. Esos patrones de urbanización surgen como los principales factores de destrucción de los recursos

paisajísticos existentes en el frente de la zona costera, pues los diversos sistemas costeros como las costas de barrera, humedales, planicie de inundación de lagunas costeras y cordones de dunas, por ejemplo, son extremadamente susceptibles al impacto de la urbanización y cuando son drásticamente fragmentados tienden a alterar sus funciones naturales (Macedo y Pellegrino 1999, Mateo y Ortiz-Pérez 2001).

Lombardo y Casella (1997) destacan que el paisaje es un sistema territorial compuesto por diferentes elementos formados a partir de la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora de la sociedad humana, misma que se haya en permanente interacción, teniendo la posibilidad de ser valorada con mayor precisión. Macedo (2002) señala que la degradación debe ser medida en función del grado de antropización considerando el equilibrio ambiental y funcional del paisaje. Por otro lado, Pires (1993) considera el grado de susceptibilidad del paisaje, como el resultado del deterioro de determinadas actuaciones sociales, es decir la transformación antropogénico del espacio natural.

Anteriormente, Jalas (1955) alude el término de 'hemerobia' como un concepto de degradación y transformación del paisaje, clasificando al paisaje en cuatro grados en función del más preservado al más antropizado. De igual forma, Sukopp (1972) propone grados de naturalidad, del paisaje más natural al cultural, derivado de los efectos del ser humano que influyen directa o indirectamente en el estado del paisaje. Monteiro (1978), explica los efectos de las alteraciones del ser humano en el paisaje, a partir del concepto 'derivación antropogénico'. Troppmair (1983, *in* Sukopp 1997), aplica el concepto de Jalas (1955) en una escala pequeña (1: 2.000.000), clasificando al paisaje en función de su alteración. Kowarik (1999 *in* Brentrup et al. 2002), considera el grado de naturalidad de acuerdo al tipo de uso de suelo. Brentrup et al. (2002), propone once clasificaciones del paisaje a partir del impacto humano en el uso del suelo. Mateo et al. (2007) resalta de manera trascendental, desde el punto de vista espacial, el grado de artificialización y transformación antropogénico del paisaje en función de la alteración de las funciones naturales del mismo, proponiendo así la clasificación sintética de los paisajes antropogénico.

Actualmente, existe una notable carencia de estudios que aborden la pérdida de la naturalidad del paisaje en la zona costera, desde el enfoque espacial, pese a la abundancia de trabajos disponibles sobre paisajes. Es por ello que el objetivo de esta colaboración es presentar los resultados de la evaluación de la pérdida de naturalidad del paisaje en las regiones costeras del Caribe Mexicano.

Los ejes centrales de esta propuesta se establecen, fundamentalmente, a partir del grado de naturalidad (***Gn***) del paisaje en la zona costera y de dos conceptos claves asociados al grado de alteración que son los valores de la impermeabilización (***Gi***) y el grado de rigidización (***Gr***) como elementos que se contraponen al funcionamiento natural del paisaje: el proceso de alteración se establece a través del grado de transformación de la zona costera; esto significa ir del paisaje con mayor transformación al más natural.

Grado de Impermeabilización de la Zona Costera (***Gi***)

El proceso de impermeabilización, se entiende como el sello en la estructura natural del paisaje que interfiere en el flujo vertical- horizontal de energía y materia al formar con la mancha urbana una obstrucción en la funcionalidad espacial. Esto provoca un estado de aislamiento entre las principales envolturas naturales (atmósfera, biosfera, hidrosfera y litosfera) perdiendo entonces las propiedades de autorregulación y regeneración del paisaje en la zona costera (Mateo y Ortiz-Pérez 2001).

Este proceso, se expresa de manera espacial a través de la fragmentación derivado del proceso de urbanización, del cambio de uso de suelo, del relleno y desecación de humedales (Landgrave y Moreno 2012), de la alteración de hábitats, de la remoción y movimiento de tierras, destrucción de las dunas, de la pérdida y reducción del espacio en la zona de la supra-playa, para disipar energía y alojar escombros en los eventos de tormenta y la obstrucción de la fuente de sedimentos, tal como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1. Detalle de la infraestructura y equipamiento turístico que ejerce una obstrucción, un sello y una reducción del espacio de playa por la proximidad de las instalaciones sobre la playa seca.

De manera tal, las tendencias de cambios observados a través de la urbanización, los cambios de uso de suelo, el impacto de la actividad turística y las infraestructuras de protección, ha implicado la sustitución de paisajes naturales en la costa por paisajes artificiales, superficies impermeabilizadas que aumentan la susceptibilidad a los peligros de inundación y las tasas de remoción en masa de las playas, por ejemplo, tal como sucedió en la barrera de Cancún con el huracán Wilma en octubre del 2005 con pérdida de la playa y reconfiguración de la batimetría (Félix 2007). De este modo, fragmentan la conectividad entre los geosistemas adyacentes a lo largo de la costa con implicaciones en los servicios ambientales (Romero et al. 2009).

Es así que a $> Gi$, mayor será la pérdida de naturalidad y atributos en la estructura del paisaje, provocando que los eventos naturales extremos se transformen en desastres sociales, dada la transformación de la estructura espacial.

Grado de Rigidización de la Zona Costera

Los procesos funcionales del sistema costero consisten en el traslado de energía y materia (agua y sedimentos) que fluyen dinámicamente a diario formando el estado medio del marco ambiental y en eventos extraordinarios que se manifiesta en huracanes, mareas de viento, oleaje de tormenta, y corrientes de marea extraordinaria, cuya intensidad varían en pulsaciones contrayéndose y expandiéndose espacialmente. Mientras el proceso de rigidización es en sentido contrario, suprime la elasticidad de los fenómenos meteóricos con la reducción del espacio de acción, limitando la expansión espacial de la estructura funcional del sistema costero, por ejemplo reducción del espacio para que se aloje la subida del nivel del mar en las tormentas.

De esta manera la rigidización resulta de la densificación espacial de las infraestructuras de abrigo, protección costera y turística, que con el fin de dar servicio, protección y abrigo, limitan los espacios de amortiguamiento en la zona de la playa. De este modo las instalaciones tienen un efecto de obstaculizar y obstruir los flujos y traslados de energía, como el oleaje y corriente de marea, corrientes longitudinales de deriva de playa, tal como se ilustra en la Figura 2.



Figura 2. Detalle de la rigidización con obras de protección y atraque de embarcaciones.



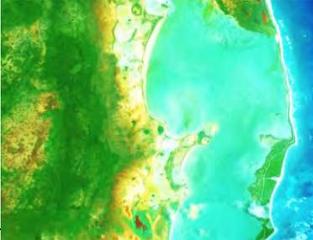
Figura 3. Ejemplo de un tramo sellado y la reducción de espacio con infraestructura turística, vial y portuaria.

De esta manera a $> Gr$, menor será la será la capacidad de soporte, regulación y regeneración autónoma del paisaje. Al buscar éstos la extensión del espacio requerido en la zona de la anteplaya e interplaya, para desarrollarse, se encuentran a su paso las infraestructuras de abrigo y protección que se traducen en efectos destructivos con daños severos por remoción, inundación, erosión-deposición del sedimento y pérdida de la infraestructura emplazada.

Se presenta a continuación los criterios para evaluar la perdida de naturalidad del paisaje en la zona costera del Caribe Mexicano. Ver Cuadro 1.

Cuadro 1. Criterios para determinar el Gn a partir del Gi y Gr . Fuente: elaboración propia.

Valor del grado de Gi y Gr	Características del Paisaje	Estructura espacial	Grado de pérdida de naturalidad (Gn)	Funcionalidad
1.0	Paisaje con matriz de mancha urbana y parches relictos de vegetación.		Transformado	Muy baja
0.75	Paisaje con matriz semi-artificial urbana de baja densidad con parches de vegetación secundaria.		Muy Alterado	Baja

0.50	Paisaje con matriz semi-transformada con parches inducidos de vegetación secundaria.		Alterado	Media
0.25	Paisaje con matriz natural con parches escasos de alteración		Semi-transformado	Alta
0.0	Paisaje con matriz uniformemente natural.		Natural	Muy alta

Entorno Natural de la Costa Maya del Caribe

Corresponde al territorio del Estado de Quintana Roo situado en la porción oriental de la Península de Yucatán. Desde el punto de vista geológico consiste en una plataforma calcárea con capas de disposición tabular, originada desde el mioceno por emersión de levantamiento tectónico. De topografía llana pero irregular de numerosas hondonadas y colinas bajas. De clima tropical con lluvias en el verano, con suelos delgados principalmente de leptosoles y cambisoles ambos con características rendzicas y una vegetación secundaria dominante, derivada de selvas de talla baja y mediana sub-perennifolia, pastizales inducidos y localmente aguadas de maleza acuática. La ausencia de drenaje superficial con escaso relieve explica que la plataforma calcárea de Yucatán, dominen los procesos de disolución de las rocas calizas, con un insignificante aporte de sedimentos de la porción continental.

Por el lado del Mar Caribe recibe la influencia de ciclones tropicales que transitan de oriente a poniente sobre el Mar Caribe y cruzan al mar del Golfo de México con una incidencia cercana a una frecuencia de un ciclón cada dos años, esto desde luego corresponde a una actividad muy alta, entre los que tocaron tierra y los que pasaron cerca a menos de cien kilómetros de distancia, las trayectorias inciden en todo el litoral pero con mayor frecuencia en el segmento del trayecto comprendido de Sian Ka'an hasta Cabo Catoche, Jauregui et al. (1980) y Félix (2007).

Probablemente el fenómeno hidro-meteorológico de los huracanes sea el de mayor significado, dada la modificación natural que provoca con los efectos de las ráfagas de viento, inundaciones locales y la erosión acelerada de playas y el de la destrucción de los arrecifes de coral que en conjunto conforma una barrera que se extienden de manera paralela y discontinua al contorno de la costa, amortiguando sensiblemente la energía del oleaje. Por tanto, los corales son la fuente primaria de los sedimentos de arenas finas apreciadas por su textura y color blanco, muy atractivos por la sensación de escenarios prístinos desde el punto de vista turístico.

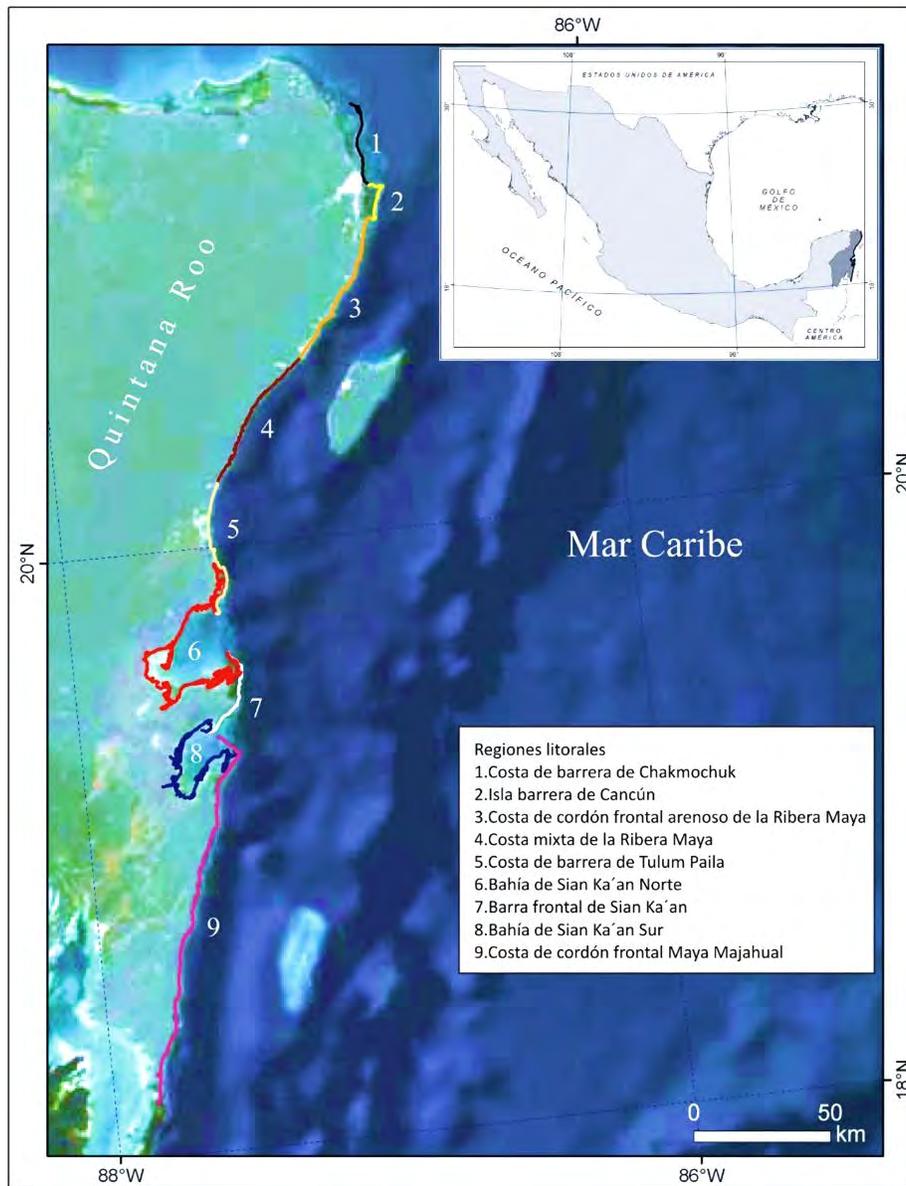
El emplazamiento de esta barrera propicia un medio nerítico de aguas de fondo somero, de aguas cálidas relativamente tranquilas que favorecen las condiciones para el crecimiento del mismo arrecife de coral.

La barrera en cuestión se identifica entre los arrecifes franjeados o de franja y los de laguna arrecifal, Selley (1976), por formarse muy cerca de la costa, con disposición lineal discontinua, que cuando es visto en planta, muestra una distribución en forma de rosario con trechos o parches, dejando entre sí brechas o espacios que son aprovechados por el oleaje y el paso de las corrientes liberando su energía.

Por tal motivo se puede decir que la barrera es sumamente porosa creando un ambiente parecido al de una laguna arrecifal, dejando una estrecha plataforma ligeramente inclinada hacia el mar que remata con el armazón resistente de esqueletos orgánicos calcáreos de coral, algas calcáreas y organismos asociados. El borde exterior que da al mar, cuenta con un talud de mayor pendiente y en cuya parte superior están los corales vivos sobre los cuales rompe la mar, absorbiendo y amortiguando la energía del oleaje retroalimentándose de la circulación de las aguas agitadas, claras y libres de sedimentos suspendidos. Mientras en el borde interno, el talud es menos pronunciado y se llega a acumular arenas esqueléticas y de los restos de coral.

Regionalización Natural

Se presenta una breve descripción de las principales características de las nueve regiones elegidas por su homogeneidad fisonómica, para evaluar la pérdida de naturalidad del frente de la zona costera del Caribe Mexicano. Mapa 1.



Mapa 1. Localización de las nueve regiones del litoral del Caribe Mexicano.

Región 1. Costa de Barrera de Chakmochuc

Esta región tiene una extensión de 41.54km² se localiza en la zona nororiental de la Península de Yucatán. La geomorfología costera está asociada a cordones litorales y dunas, debido al acarreo dominante de la deriva litoral que reconoce a ésta como zona natural de acumulación. Mapa 2.



Mapa 2. Localización de la Región 1.

Región 2. Isla Barrera de Cancún

Esta región tiene una extensión de 23 km y se ubica en la zona nororiental de la Península de Yucatán. Predomina geomorfológicamente la costa de barrera, y afloramientos de dunas fósiles, asociada con el sistema arrecifal del Caribe Mexicano. Mapa 3.



Mapa 3. Localización de la Región 2.

Región3. Costa de Cordón Frontal Arenoso de la Ribera Maya

Esta región tiene una extensión de 65.69 km y se ubica como el tramo comprendido del litoral entre el desarrollo de Cancún a Playa del Carmen. La costa exhibe un arreglo formado por la playa seguida de un cordón de duna frontal con un sistema adyacente de humedales y de sumideros kársticos a sotavento.

Mapa 4.



Mapa 4. Localización de la Región 3

Región 4. Costa Mixta de la Ribera Maya

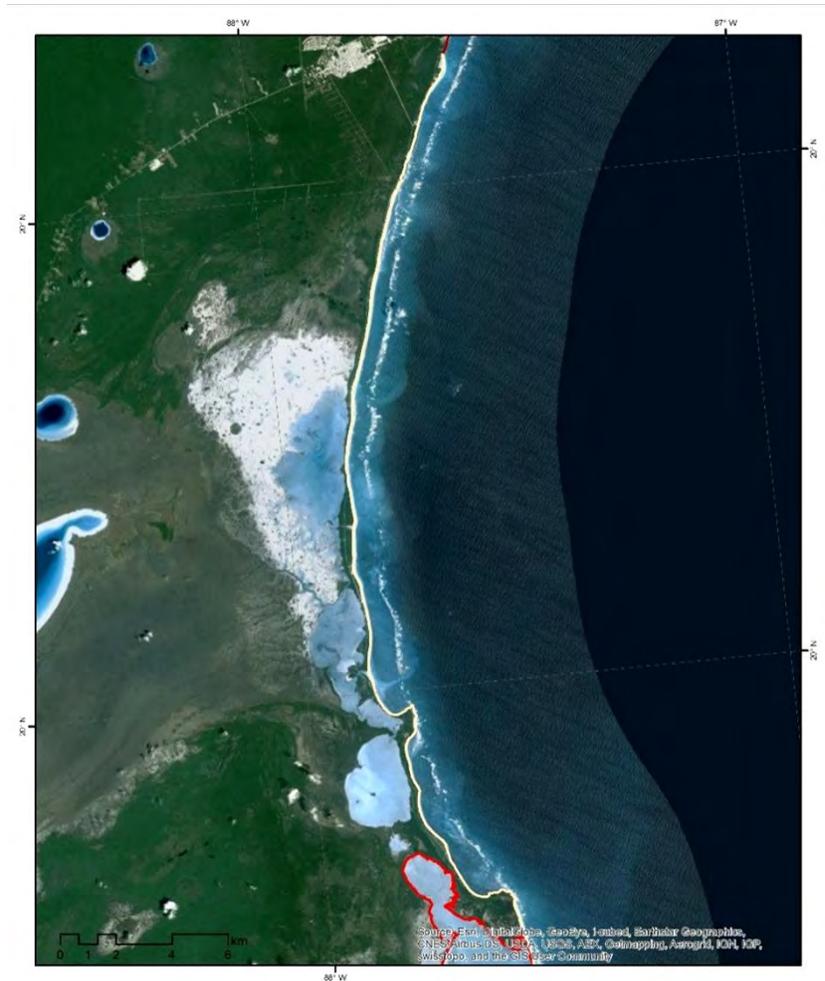
Esta región tiene una extensión de 74.97 km, abarca el litoral de Playa del Carmen a Akumal. La costa baja rocosa de configuración rectilínea, con entrantes de ensenadas (bahías karstificadas) con fondo de playas de bolsillo. Mapa 5.



Mapa 5. Localización de la Región 4

Región 5. Costa de Barrera de Tulum-Paila

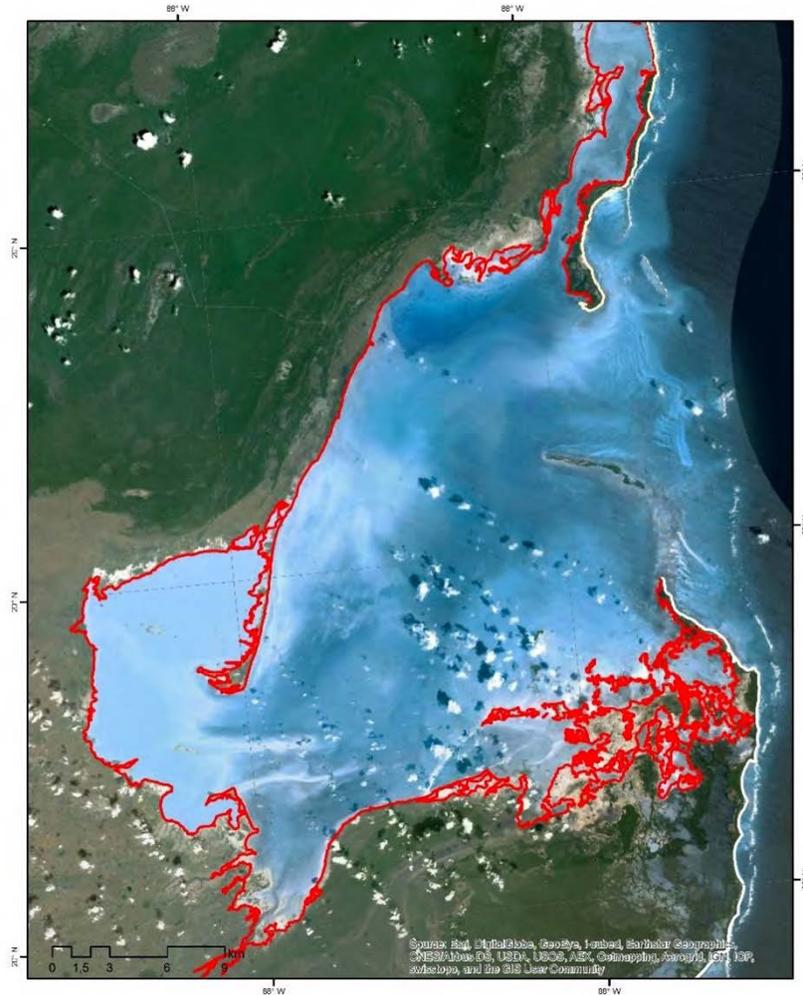
Esta región tiene una extensión de 57.03 km y se localiza comprendiendo el litoral entre Tulum y Punta Allen al sur. Predomina el arreglo geomorfológico de playa con barrera frontal arenosa y dunas, resguardando un sistema lagunar costero e interior. Mapa 6.



Mapa 6. Localización de la Región 5

Región 6. Bahía de Sian Ka'an Norte

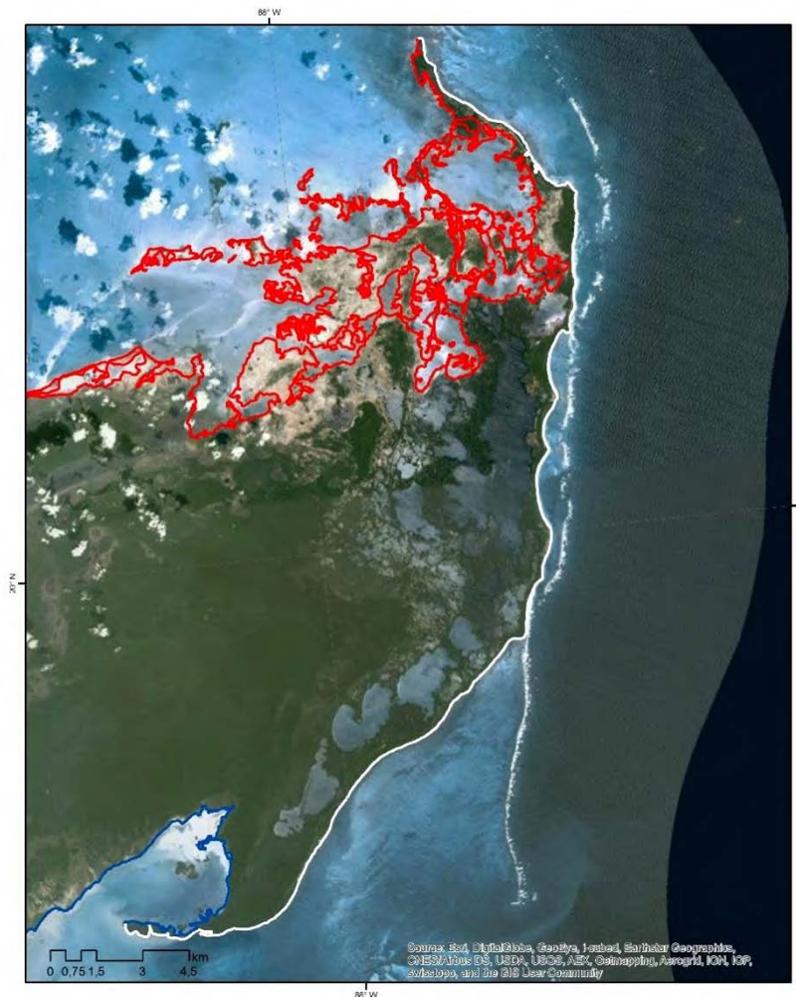
Esta región tiene una extensión de 447.38 km, abarca el embahiamiento del litoral comprendido entre Punta Allen y Punta Pájaros. Se caracteriza geomorfológicamente por un hundimiento del terreno propiciado por la traza divergente de fallas de rumbo lateral izquierdo, formando una planicie de inundación con ecosistema de humedal y de petenes asociados a procesos kársticos. Esta costa presenta una bahía con entrante profunda limitada exteriormente por eslabones de arrecifes de coral, seguida por barreras arenosas que luego hacia el interior por unos 22 km se anida otra entrante de bahía, resguardada con nuevas barreras arenosas que dan abrigo y protección de manera natural al ecosistema de Sian Ka'an. Mapa 7.



Mapa 7. Localización de la Región 6

Región 7. Barra Frontal de la Península de Sian Ka'an

Esta región tiene una extensión de 44.29 km y se ubica en la Península de Sian Ka'an, específicamente en el litoral de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. La geomorfología está constituida por una costa de barrera arenosa, formando un cordón frontal de duna que resguarda los sistemas de humedales adyacentes a sotavento. Mapa 8.



Mapa 8. Localización de la Región 7

Región 8: Bahía de Sian Ka'an Sur

Esta región tiene una extensión de alrededor de 246.71 km. Consiste de una bahía con una entrante profunda de más de 25 km que se interna tierra adentro, favorecida por un proceso de hundimiento del terreno originado del primer sistema disyuntivo ligado a la apertura del Caribe y de procesos Kársticos de disolución con humedales y petenes al interior. Mapa 9.

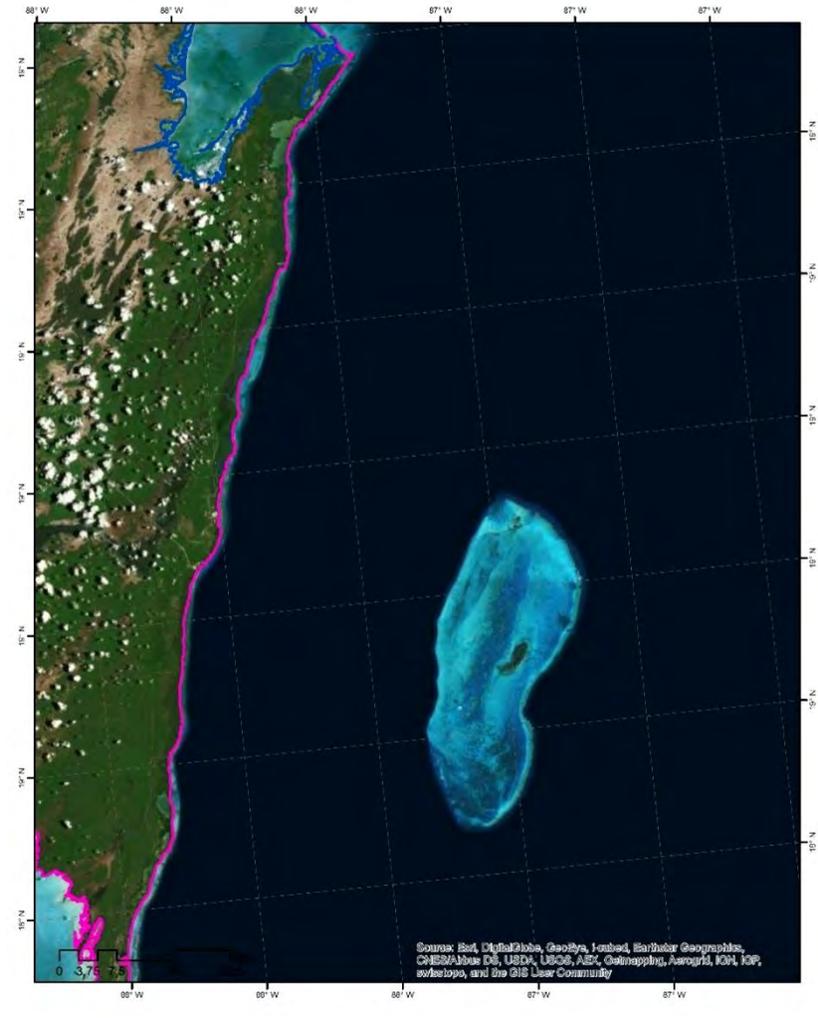


Mapa 9. Localización de la Región 8

Región 9. Costa del Cordón Frontal Maya-Majahual

Esta región tiene una extensión de 161.29 km, comprende la porción meridional del Caribe-Mexicano, conocida como costa Maya. La geomorfología costera está asociada a la playa ligada a la barra frontal e influenciada originalmente por la barrera arrecifal de borde o franja resguardando en la tras-costa extensos humedales. Mapa 10.

La expresión espacial en este sector es paralela a la barrera arrecifal, específicamente en la localidad del Majahualfrente a Banco Chinchorro.



Mapa 10. Localización de la Región 9.

Materiales y Metodología

Para el presente estudio, se utilizó el mosaico de imágenes satelitales de alta resolución de Digital Globe™ 2014, por medio de Google EarthPro™. Se empleó Arc2Earth™ que es una herramienta integral y un conector entre los servicios de Google EarthPro™ y ArcGis Desktop con en el sistema de información geográfica ArcGis™ v. 10.2.2.

Se diferenciaron nueve regiones fuertemente influenciadas por las actividades antrópicas y las transformaciones del paisaje en el Caribe Mexicano. Para calificar el grado de dicha transformación se utilizó una cuadrícula de análisis con un tamaño de una hectárea por cuadro, permitiendo trabajar a escalas detalladas entre 1: 5,000 y 1: 10,000.

Para llevar a cabo la evaluación de las nueve regiones que abarcan el litoral, la cuadrícula se sobrepuso en el frente de la zona costera, siguiendo el contorno de la línea de costa. Se asignaron colores en cada cuadro de acuerdo a la escala establecida para evaluar tanto el grado de *Gi* como el grado de *Gr*.

En cuanto a la forma de estimación de los valores, se estableció una escala de cinco que asignan el grado de la pérdida de la naturalidad del paisaje.

De modo que los valores oscilan entre 1.0 y 0.75 para el valor máximo de perturbación y transformación de la estructura del paisaje, 0.5 para el valor medio de perturbación y 0.25 y 0.0 que determinan una mínima degradación en la estructura del paisaje en la zona costera.

En ese sentido los criterios de los valores, en gran parte están determinados por la dinámica de las funciones principales del paisaje de acuerdo a Nucci y Belem (2011), De Groot (1992) y Pires (1993), tabla 1.

Los valores establecidos en la presente escala corresponden al *Gi* en la zona costera, tabla .1

Tabla 1. Criterios para evaluar el *Gi*.

1.0	Matriz de mancha urbana y parches relictos de vegetación. Presencia de núcleo urbano con mayor concentración de construcciones, alta densificación de infraestructura (de abrigo, protección costera, petrolera y turística).
0.75	Matriz semi-artificial urbana de baja densidad. Presencia de núcleo turístico y residencial.
0.50	Matriz semi-transformada con parches inducidos de vegetación.

0.25	Matriz natural con parches escasos de alteración. Con escasa perturbación del suelo y el agua, se conserva la vegetación nativa pero con corredor inducido, (camino de terraplén) y parches inducidos de perturbación.
0.0	Matriz uniformemente natural. Cercana a lo natural conservando la integridad que asegura la funcionalidad en la zona costera.

Los valores establecidos en la tabla 2, Corresponden a la escala establecida para la evaluación del G_r en la zona costera.

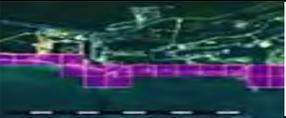
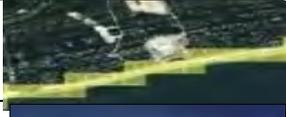
Tabla 2. Criterios para evaluar el G_r .

1.0	Matriz de mancha urbana y parches relictos de vegetación, sustrato artificial. Equipamiento e infraestructura de abrigo y protección costera (rompeolas, espigones, escolleras, diques y muelles), petrolera, turística en la zona de la anteplaya e interplaya. Estructuras de interferencia, desvío, obras que en general impidan la acción de la energía del mar sobre la porción de la zona costera, a menos de 20m de distancia del nivel medio del mar. Éstas reducen el espacio de la dinámica en la zona costera, obstaculizando la subida del nivel del mar, y la expansión de la energía del oleaje, para disiparse en las instalaciones urbanas, turísticas o de cualquier índole. Interrumpiendo la transferencia de flujos de agua, ráfagas de viento, y sedimentos.
0.75	Matriz semi-artificial urbana de baja densidad urbana de baja densidad con espacios abiertos. Equipamiento e infraestructura de abrigo y protección costera (rompeolas, espigones, escolleras, diques y muelles), petrolera, turística en la zona de la anteplaya e interplaya. Estructuras de interferencia, desvío, obras que en general impidan la acción de la energía del mar sobre la porción de la zona costera, a menos de 20m de distancia del nivel medio del mar.
0.50	Matriz semi-transformada con parches inducidos de vegetación. Infraestructura vial, caminos, construcciones ligeras de menor impacto en la playa. Instalación de equipamiento residencial contemplativo-recreativo.

	Con pocos cambios en el sustrato, instalados a distancias comprendidas entre 20 m y los 50m. de distancia del nivel medio del mar
0.25	Matriz natural con parches escasos de alteración Infraestructura, caminos y edificaciones aisladas en el flanco de la playa a sotavento.
0.0	Matriz uniformemente natural. Ausencia de infraestructuras.

Se muestra a continuación, en el Cuadro 2, los criterios empleados en la cuadrícula para llevar a cabo la evaluación de la pérdida de naturalidad en las zonas de estudio.

Cuadro 2. Criterios para evaluar la pérdida de naturalidad del paisaje costero. Elaboración propia.

Escala de color	Valor del grado de <i>Gi</i> y <i>Gr</i>	Grado de naturalidad (<i>Gn</i>)	Ejemplo utilización de la cuadrícula
Violeta	1.0	Transformado	
Rojo	0.75	Muy alterado	
Amarillo	0.50	Alterado	
Verde	0.25	Semi-transformado	
Azul	0.0	Natural	

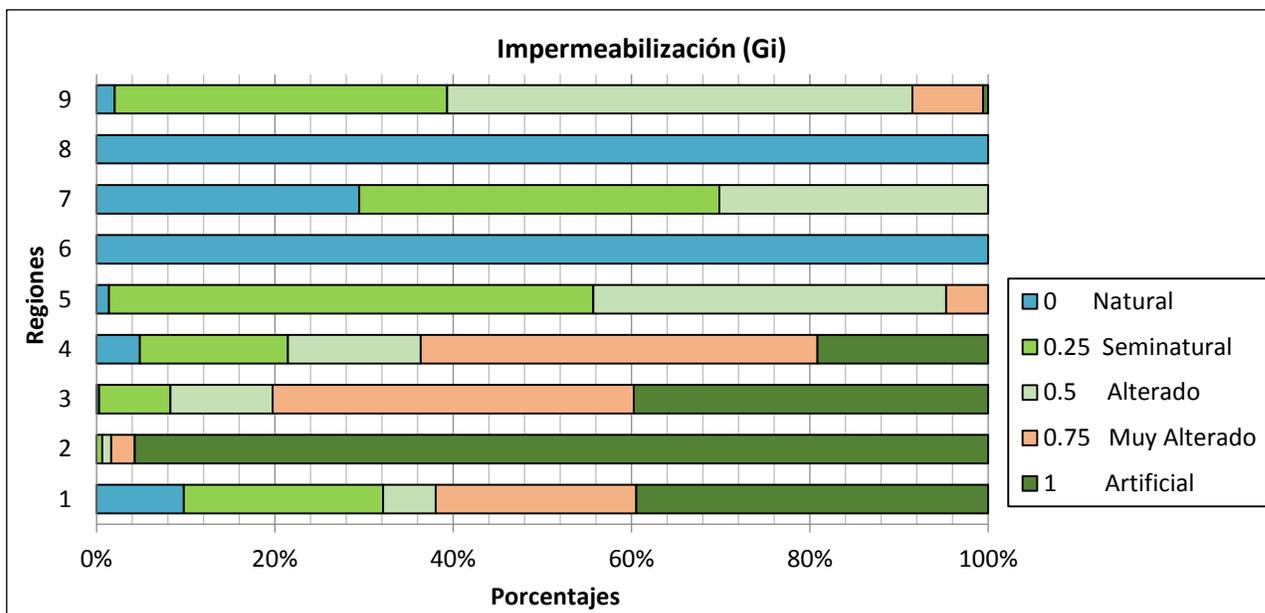
Posteriormente, se cuantificó el número de cuadros de cada valor establecido en la escala del *Gi* y *Gr* para las nueve regiones, obteniendo la

superficie total en hectáreas, así como en porcentaje. Finalmente, con la aplicación de Excel™ se graficaron, el total de hectáreas de cada valor en la escala del *Gi* y *Gr* por cada región y el comportamiento general.

Resultados y Discusión

De manera general, se presenta la evaluación del *Gi* en los paisajes de la costa del Caribe Mexicano.

El resultado de la evaluación en las nueve regiones litorales, permite observar que es evidente una mayor tendencia a la **impermeabilización** hacia la zona norte particularmente la franja de Cancún que en este trabajo es la región 2, seguida por la región tres Puerto Morelos-Playa del Carmen con diversos y recientes desarrollos turísticos. La región uno al estar en contacto espacial con la barra de Cancún y el atractivo de contar con la infraestructura y proximidad de servicios se establece solidificando el sello con valores artificiales y muy altos, grafica 1, favorecida además de los embarcaderos de las instalaciones de Puerto Juárez y Punta Sam. La Región 4, se encuentra en el cuarto sitio con una de las mayores pérdidas de naturalidad en la estructura del paisaje costero, debido al impacto de los grandes desarrollos inmobiliarios-turísticos, en una costa con componentes diferentes en estructura geológica y relieve que por su naturaleza se oponía con resistencia a cambios, desafortunadamente la sustitución de los espacios naturales por artificiales se ha consolidado en los lugares menos esperados. Gráfica 1.

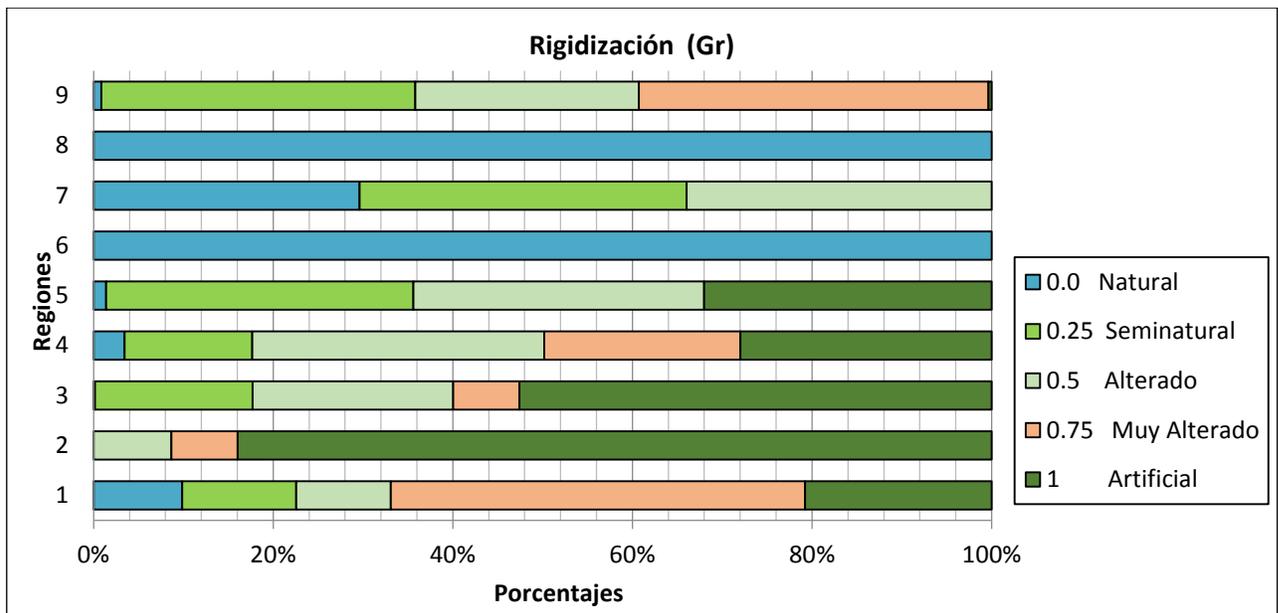


Gráfica 1. Grado de impermeabilización (*Gi*) en las 9 Regiones.

Se destaca que:

- Existe un mayor valor de naturalidad del paisaje costero en las Regiones 6, 7 y 8, que corresponden a zona de protección de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.
- De acuerdo al siguiente orden de distribución: la Región 2, 3, 1 y 4 predomina el valor 1.0 (artificial), que representa una mayor transformación y degradación del paisaje en la zona costera. Seguida por una impermeabilización de la zona costera del 40% de la superficie consignada para la Región 3 y 1.
- El valor 0.75 (muy alterado) se establece con tendencia a consolidarse en las Regiones 1, 3 y 4 dada la facilidad que ofrece la infraestructura vial.
- En las Regiones 5, 7 y 9 el valor de 0.25 (semi-natural) representa el peligro potencial al contar con una viabilidad de acceso.

El resultado correspondiente al *Gr* en las nueve Regiones litorales, permite observar que predominan los valores entre 0.25-0.50, es decir un grado semi-natural al alterado. Gráfica 2.



Gráfica 2. Grado de rigidización (*Gr*) en las 9 Regiones.

En el apartado de la rigidización y de manera semejante al de la impermeabilización, en ambos destacan las bahías de Sian Ka’an con el valor más alto de naturalidad que le imparte desde luego, la ausencia de los valores de rigidización. Se suma la zona costera de la Región 7 para dar una mayor cohesión a la extensión del paisaje natural con uno semi-natural de escasa degradación, con esta misma condición se extiende con un 36% la zona costera de la Región 9 que cubre la porción meridional de la costa ligeramente superada por el 39% de la playa húmeda alterada por las obras de los diversas localidades con instalaciones de atraque de embarcaciones por el imán que representa la visita a el Banco Chichorro.

Síntesis

Resumen de la pérdida de naturalidad de las 9 Regiones de la costa del Caribe Mexicano. Ver Cuadro 3.

Cuadro 3. Pérdida del grado de naturalidad de las regiones de la costa del Caribe Mexicano. Fuente: Elaboración Propia.

Zona costera de la región litoral del Caribe Mexicano	Intensidad del cambio en el sustrato	Funcionalidad: persistencia, exposición al peligro	Distribución (extensión) en la estructura espacial de la zona costera
1. Costa de Barrera de Chakmochuk	Alta. Distante del sustrato original.	Media. Con fluctuaciones fuertes de pulso temporal.	Paisaje con matriz semi natural con parches inducidos con distribución parcial, alternada de forma puntual y en trechos extensos.
2. Isla Barrera de Cancún	Alta. Existe una sustitución totalmente artificial.	Muy Baja. Condición crítica extrema. Procesos irreversibles, paisaje agotado.	Paisaje con matriz urbana de influencia total con escasos parches de vegetación secundaria, semi-natural.
3. Costa de cordón frontal arenoso de la Riviera Maya (Puerto Morelos-Playa del Carmen)	Alta. Existe una sustitución totalmente artificial	Mínima. Por cambios en la funcionalidad de las relaciones dinámicas de flujo	Paisaje con matriz urbana semi artificial con parches de vegetación secundaria. Distribución parcial, alternada de forma puntual y en trechos con una área de influencia extensa
4. Costa mixta tramo Calica - Tulum	Alta. Existe una sustitución totalmente artificial.	Mínima. Cambios en la funcionalidad de los procesos costeros.	Paisaje con matriz urbana y parches remanentes de vegetación original.
5. Costa de Barrera de Tulum-Paila-Allen	Baja. Pocos cambios en el sustrato.	Media. Fluctuaciones temporales de la variabilidad de los procesos costeros.	Paisaje con matriz natural con parches remanentes de alteración. Distribución alternada de trechos alterados y semi naturales
6. Bahía de Sian Ka'an Norte	Muy baja. Se conserva la condición natural.	Muy Alta. Funcionamiento óptimo de la dinámica natural.	Paisaje con matriz uniformemente natural.
7. Barra frontal de Sian Ka'an	Baja. Pocos cambios en el sustrato.	Alta.	Paisaje con matriz semi-natural con parches remanentes de alteración
8. Bahía de Sian Ka'an Sur	Muy baja. Se conserva la condición natural.	Muy Alta. Funcionamiento óptimo de la dinámica natural	Paisaje con matriz uniformemente natural.

9. Costa de cordón frontal Maya- Majahual	Baja. Pocos cambios en el substrato.	Alta.	Paisaje con matriz semi- natural con parches remanentes de alteración.
--	--	-------	---

Conclusiones

- Como afirma Mateo (2000), las actividades humanas tienden a incrementar los peligros inducidos, en mayor medida, por la modificación sobre la estructura del paisaje, y sus principales funcionamientos; capacidad de soporte, regulación, producción, información y regeneración autónoma. Por ende, cualquier fluctuación extrema representa una mayor alteración y transformación de la dinámica del paisaje, como es el caso de Cancún, Playa del Carmen, que si bien dan servicio al sector turístico, ello no garantiza la funcionalidad adecuada en la estructura del paisaje, ya que se favorecen áreas de impermeabilización, lo que significa como se ha hecho notar de forma reiterada, romper con la conectividad y abastecimiento de las principales funciones de traslado vertical y horizontal de energía-materia de la zona costera. Sumado a los escenarios del cambio climático global, que enmarcan el incremento del peligro por eventos hidrometeorológicos extremos y los problemas de erosión en la línea de costa.
- Los procesos de rigidización e impermeabilización van de la mano en el sentido de que se complementan uno al otro, ya que conjuntados, desproveen de los principales atributos del paisaje que dan sustento a la funcionalidad en la costa tanto para la zona comprendida entre la posplaya y la playa sumergida.
- La dinámica del proceso de rigidización es muy marcada para la zona de la playa húmeda (anteplaya e interplaya), dado la pérdida de elasticidad por el emplazamiento de obras de abrigo y protección a la costa. Ello significa la

reducción de los espacios en la zona costera. De esta forma los procesos hidrodinámicos son obstruidos y afectados por la proximidad de las obras de abrigo-protección a la costa y de las mismas instalaciones y equipamiento turístico-portuario, que usualmente se traducen en daños severos.

- En particular la estimación de la pérdida de la naturalidad del paisaje en las regiones costeras puede establecerse como una de las principales herramientas en la planeación territorial y de regulación de las actividades antropogénicas, ya que el hombre introduce factores y elementos adicionales al paisaje, asimilándolos como parte de la estructura y como respuesta natural del sistema costero. Finalmente la mayor aportación de este trabajo se avoca a evaluar la pérdida de la naturalidad del paisaje a fin de insertar novedosos instrumentos que se consideren en el manejo y administración del espacio costero.

Agradecimientos

Al Instituto de Ecología A.C., INECOL (CONACYT), la distinción de invitarnos al 4to Coloquio Internacional sobre Cambio Climático INECOL-2014, efectuado en Xalapa, Ver., México, los días 29 y 30 de Mayo. Al Instituto de geografía de la UNAM las facilidades y respaldo para preparar este trabajo.

Referencias

Brentrup, B., 2002. Landscape planning for sustainable municipal development. Leipzig: German Federal Agency for Nature Conservation (Bundesamt für Naturschutz, BfN): 447-459.

Day, J. W., R. R. Christian, D. F. Boesch, A. Yáñez-Arancibia, J. Morris, R. R. Twilley, L. Naylor, L. Schaffner, C. Stevenson, 2008. Consequences of climate change on the ecogeomorphology of coastal wetlands. *Estuaries and Coasts* 31: 477-491.

Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, J. M. Rybczyk, 2012. Climate change: effects, causes, consequences – physical, hydro-morphological, eco-physiological, and biogeographical changes. *In*: Kennish M. J., Elliot, M. (eds.), Human-Induced Problems (Uses and Abuses), *In* Treatise on Estuarine and Coastal Science Series. Elsevier Applied Science, The Netherlands. Capítulo 8/11: 303-315.

Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, J. H. Cowan, R. H. Day, R. R. Twilley, L. M. Rybczyk, 2013. Global climate change impacts on coastal ecosystems in the Gulf of Mexico, Capítulo 14: 253-272. *In*: Day, J.W., Yáñez-Arancibia, A. (eds.), Gulf of Mexico Ecosystem-Based Management. The Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Gulf of Mexico Origin, Waters & Biota Series, Volume 4. Texas A&M University Press, College Station, TX, 460 pp.

IPCC, 2014. AR4 WG2. Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson (eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88010-7. (pb: 978-0-521-70597-4).

Félix Delgado, A., 2007. Análisis de la dinámica geomorfológica de la zona hotelera de Cancún como contribución al desarrollo a un plan de manejo costero. Tesis de la División de Posgrado. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Campeche. 91 pp.

Jalas, J., 1955. Hemerobeundhemerochore Pflanzenarten. Einterminologischer Reformversuch. Acta Soc. Fauna Flora Fenn. 72 (11): 1-15.

Jauregui Vidal, J. F. Cruz, 1980. Ciclones y tormentas tropicales en Quintana Roo durante el período 1871-1978. Memorias del Simposio, Quintana Roo: Problemática y Perspectiva. Instituto de Geografía UNAM y el Centro de Investigaciones de Quintana Roo. pp. 47-63

Kowarik, I., 1988. Zummenschlichen Einfluss auf Flora und Vegetation. Theoretische Konzepte und ein Quantifizierungsansatz am Beispiel Berlin (West). 56:1-280.

Landgrave, R., P. Moreno-Casasola, 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública. Publicación semestral. SEMARNAT-INECC, Editorial 4 (1): 4-18.

Lombardo, M., L. Casellas, 1997. Turismo ambiental: o caso de Bombinhas (SC). *In*: Rodrigues, Adyr Balastrieri (ed.), Turismo e Ambiente: Reflexões e Propostas. Hucitec, São Paulo, p. 89-97.

Macedo, S., 2002. Paisagem, turismo e litoral. *In*: E. Yázigi (ed.), Turismo e Paisagem, Contexto São Paulo, p. 181-214.

Macedo, S., P. Pellegrino, 1999. Do éden à cidade: transformação da paisagem litorânea brasileira. In: Yáziqi, E., Carlos, A. F., Cruz, R. de Cássia Ariza (eds.), Turismo: Espaço, Paisagem e Cultura. Hucitec, São Paulo, p. 156-160.

Mateo, J., 2000. Geografía del Paisaje. Facultad de Geografía, Universidad de la Habana. 192 pp.

Mateo, J., E. Silva, 2007. Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. A.P.B. da Cavalcanti. Fortaleza: UFC Edições. 222 pp.

Mateo, J., M.A. Ortiz-Pérez, 2001. La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. Serie Varia, Nueva Época. Instituto de Geografía, UNAM. México DF. (1): 40pp.

Monteiro, C., 1978. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: Perspectivas urbanas e agrária são problema da elaboração de modelos de avaliação. Simpósio sobre Comunidade Vegetal como Unidade Biológica, Turística e Econômica. Anais. São Paulo, Publicação ACIESP (15): 43-74.

Ortiz-Pérez, M. A., A. P. Méndez Linares, J. R. Hernández Santana, 2013. Sea-level rise and vulnerability of coastal low-land in the Mexican area of the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. Capítulo 15: 273-290. In: J. W. Day, A. Yáñez-Arancibia (eds.), The Gulf of Mexico: Ecosystem-based Management. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A & M University Press, 460 pp.

Pires, P., 1993. Procedimentos para análise da paisagem na avaliação de impactos ambientais. In: Manual de Avaliação de Impactos Ambientais. MAIA. PIAB, Curitiba, Brasil: 3220-3250.

Romero, H., C. López, G. Sandoval, 2009. Degradación ambiental de paisajes naturales y expansión urbana de Viña del Mar. III Coloquio Chile, del País Urbano al País Metropolitano, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Rybczyk, J. M., J. W. Day, A. Yáñez-Arancibia, J. H. Cowan, 2013. Global climate change and estuarine systems, Capítulo 20: 497-518. In: Day J.W., Crump B.C., Kemp W.M., Yáñez-Arancibia A. (eds.), Estuarine Ecology 2nd Edition, Wiley-Blackwell, A John Wiley & Sons, Inc. Publication. 550 pp.

Selley, R. C., 1976. Medios Sedimentarios Antiguos. Blume Ediciones. Madrid, 251 pp.

Sukopp, H., 1972. Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluss des Menschen. Berichte über Landwirtschaft, Bd. 50-H. (1): 112-139. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin (56): 240 pp.

Sukopp, H., 1997. Indikatoren für Naturnähe. *In*: Bundesministerium f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit (Hrsg) Ökologie, Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland. –Tagungsband zum Fachgespräch, 29 und 30. April 1997 im Wissenschaftszentrum Bonn -Bad Godesberg: 71-84.

Yáñez-Arancibia, A., J. W. Day, 2004 b. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management* 47: 727-757.