



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

EVALUACIÓN DEL PAISAJE FÍSICO-GEOGRÁFICO
PARA LA CONSERVACIÓN DEL PAISAJE DE
HUMEDAL EN EL MUNICIPIO DE BACALAR,
QUINTANA ROO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA

M.C. OMAIRA JAZMÍN HERRERA VALENCIA

DIRECTORA DE TESIS

DRA. MARÍA LUISA HERNÁNDEZ AGUILAR

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. ÁNGEL GUADALUPE PRIEGO SANTANDER

ASESORES

DRA. NORMA ANGELICA OROPEZA MARTÍNEZ

DR. RICARDO TORRES LARA

DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ

DR. PEDRO CITLAC CHARGOY LOUSTANAU

DRA. ROSALÍA CHÁVEZ ALVARADO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CHETÚMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, 2024





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISION DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE TESIS DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN GEOGRAFÍA

COMITÉ DE TESIS

DIRECTORA:


DRA. MARÍA LUISA HERNÁNDEZ AGUILAR

CO-DIRECTOR:


DR. ÁNGEL GUADALUPE PRIEGO SANTANDER

ASESORA:


DRA. NORMA ANGELINA OROPEZA GARCÍA

ASESOR:


DR. RICARDO TORRES LARA

ASESOR:


DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ

ASESOR:


DR. PEDRO CITLAO CHARGO Y LOUSTINAU

ASESORA:


DRA. ROSALVA CRAVEZ ALVARADO



CONACYT

QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE 2024



Dedicatoria

Al hermoso paisaje de **Bacalar**, espero que mis esfuerzos sean una gotita de agua que fluya hacia la laguna de conocimiento necesario para su conservación.

Egoístamente, y por muchas razones, a mí. Porque esta Investigación no solo explora la transformación del paisaje, sino también la de la persona que fui, la que soy y la que aún sueño ser...

Agradecimientos

Deseo expresar mi gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), cuya beca fue fundamental para la realización de este proyecto. Su apoyo me permitió concentrarme plenamente en mis estudios y avanzar en esta investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo (UAEQROO) y al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA, UNAM campus Morelia), les agradezco por abrirme sus puertas y brindarme el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

A mis directores de tesis, Dra. María Luisa Hernández agradezco su guía y paciencia, Dr. Ángel Priego Santander, por compartir conmigo su vasto conocimiento como referente en la materia y experiencia. Su orientación, apoyo y motivación fueron piezas clave para alcanzar los objetivos de esta investigación. Al Dr. Camacho por ayudarme a desarrollar el potencial en mí.

A la familia que está en donde llegan los caminos del sur, a la de las latitudes Baja Californianas y más al norte en la California profunda, por ver con paciencia como mis sueños me llevan a recorrer la geografía mundial, agradecimiento especial a mis papás, hermanas y hermanos, por ser felices con mi vida nómada y de exploración por elección; a Coco por ser mi brújula cuando más lo necesito.

La fortuna de sumar amistades en el “transecto” doctoral me impide mencionar a todas y todos en estas pocas líneas. Agradezco a cada uno por compartir su conocimiento a través de su contexto paisajístico; que van desde los desiertos, pasando por montañas y bosques, paisajes coloniales, urbanos, de selva maya y del hermoso caribe mexicano; gracias por las topofilias.

Como no puedo nombrar a cada uno, resolví hablar las diversas ciudades en las que se encuentran dispersos, gracias a los amigos de la “Cenicienta del Pacífico, Ensenada”, a los del CIGA en “Morelia, la ciudad que te enamora”, a los de “Toluca, capital con valor”, a los de “Ciudad de México...que lo tiene todo”, a los de “la tranquila ciudad de Mérida”, a los de “el paraíso Maya de Tulum”, a los de “Chetumal, con su típica estampa de ciudad caribeña” y del hermano país de Cuba “la Habana, capital del Caribe”.

A mi muy estimado y mejor amigo del *presente*, Antonio, quien se sumó a este “mapa” de retos y experiencias, a pesar de no contar con brújulas, vamos en el Tren indicado hacia las coordenadas donde se encuentran las metas cumplidas; sin embargo y en contraste seguimos con una trayectoria del 95% perdidos con el 5% de aventura y gloria.

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS	3
INDICE DE TABLAS	4
RESUMEN GENERAL	5
INTRODUCCIÓN.....	7
Planteamiento del problema	9
Justificación	14
Preguntas de investigación.....	14
Objetivos	15
General.	15
Particulares.....	15
Marco referencial.....	16
Antecedentes	16
Enfoque geográfico.....	20
De la Geografía física compleja a la Geoecología del paisaje.....	23
Teoría General de Sistemas	25
El paisaje como Geosistema	26
Fundamentos conceptuales.....	28
Paisaje.....	28
Paisaje físico-geográfico	29
Antropización del paisaje	30
Heterogeneidad de los paisajes.....	33
Potencial natural del paisaje y zonificación funcional.....	33
Metodología general.....	34
Área de estudio.....	35
Criterios de selección.....	35
Ubicación	36
Aspectos sociodemográficos	37
Capítulo I. Caracterización de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo	41
Resumen.....	41
1.1 Introducción.....	41

1.2 Descripción del área de estudio	43
1.2.1 Componentes naturales	43
1.3 Materiales y métodos	46
1.3.1 Revisión biblio-cartográfica.....	46
1.3.2 Producción de la hipótesis cartográfica	47
1.3.3 Trabajo de campo.....	49
1.3.4 Síntesis final de gabinete.	50
1.4 Resultados y discusión.	50
1.5 Conclusiones	59
1.6 Referencias del capítulo	60
Capítulo II. Paisajes antro-po-naturales del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México	65
Resumen.....	65
2.1 Introducción	65
2.2 Consideraciones teóricas	66
2.3 Materiales y métodos	69
2.4 Resultados	70
2.4.1 Categoría Muy Alta antropización.....	74
2.4.2 Categoría Alta antropización.	74
2.4.3 Categoría Media antropización.	74
2.4.4 Categoría Baja antropización.	75
2.4.5 Categoría Muy Baja antropización.....	75
2.5 Conclusiones	76
2.6 Referencias del capítulo	77
Capítulo III. Heterogeneidad geocológica del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México	83
Resumen.....	83
3.1 Introducción	83
3.2 Materiales y métodos	85
3.3 Resultados y discusión	86
3.3.1 Riqueza y Diversidad Máxima.....	87
3.3.2 Singularidad de los paisajes.	91
3.4 Consideraciones finales.	94
3.5 Conclusiones	95

3.6 Referencias del capítulo.....	97
Capítulo IV. Potenciales naturales de los paisajes de humedal	100
Resumen.....	100
4.1 Introducción.....	100
4.1.1 Problemas con la clasificación de humedales	103
4.2 Materiales y métodos	104
4.3 Resultados	106
4.4 Conclusiones.....	112
4.5 Referencias del capítulo	113
Discusión y conclusiones finales	115
Referencias generales.....	118
Anexos.....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la ruta metodológica.	35
Figura 2: Ubicación geográfica del municipio de Bacalar en el contexto estatal y nacional.	36
Figura 3: Habitantes en el municipio de Bacalar.....	37
Figura 4: Características económicas.....	38
Figura 5: Esquema de representación de los insumos requeridos para la hipótesis cartográfica.....	47
Figura 6: Fotografías de trabajo de campo.	49
Figura 7: Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar.....	52
Figura 8: Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal del municipio de Quintana Roo.	73
Figura 9: Riqueza y Diversidad máxima de paisajes del Municipio de Bacalar.	88
Figura 10: Singularidad y Diversidad de Mc’Intosh de los paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.	93
Figura 11: Niveles de descripción de los humedales	103
Figura 12: Mapa de Paisajes de humedal del municipio de Bacalar, Quintana Roo.....	107
Figura 13: Potenciales naturales de conservación de ecosistemas de humedal.....	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estudios diversos sobre el Potencial natural del Paisaje	17
Tabla 2: Escuelas del paisaje.....	22
Tabla 3: Atributos sistémicos del paisaje.....	26
Tabla 4: Resumen metodológico para la elaboración de las unidades del paisaje del municipio de Bacalar.....	48
Tabla 5: Niveles taxonómicos del paisaje del municipio de Bacalar.....	51
Tabla 6: Geocomplejos de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar	58
Tabla 7: Ponderación de los tipos de vegetación o uso del suelo para el cálculo del índice IACV.	70
Tabla 8: Explicación de los grados de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes.....	71
Tabla 9: Grados de antropización de la cobertura vegetal.....	72
Tabla 10: Base de datos para el cálculo de indicadores de heterogeneidad.....	85
Tabla 11: Indicadores empleados para la evaluación de la heterogeneidad geocológica.....	85
Tabla 12: Inventario de heterogeneidad geocológica para el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México	86
Tabla 13: Matriz de correlación entre indicadores de heterogeneidad geocológica. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.....	86
Tabla 14: Riqueza y Diversidad máxima de paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.....	89
Tabla 15: Singularidad y Diversidad de Mc’Intosh de los paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.....	92
Tabla 16: Evaluación de la heterogeneidad geocológica del municipio Bacalar, Quintana Roo, México.....	94
Tabla 17: Categorización de los servicios ecosistémicos de los humedales.....	101
Tabla 18: Ejemplo de un modelo óptimo para gestión y régimen de paisaje de humedal.....	106
Tabla 19: Unidades de Paisaje de humedal	109
Tabla 20: Reglamentos jurídicos aplicables a los potenciales naturales de los paisajes de humedal.....	110

RESUMEN GENERAL

La ciencia y los organismos internacionales han recogido en sus agendas internacionales a los humedales, ya que es uno de los ecosistemas con mayor reconocimiento por sus servicios ecosistémicos, es por esto el fuerte empeño que se pone en transmitir esta información con la población en general, los tomadores de decisiones y a todos los órdenes de gobierno, es por esto, que la evaluación de los paisajes de humedal comprendidos en el territorio del Municipio de Bacalar constituyen el objeto de estudio de esta tesis; evaluando el estado actual, con el propósito de plantear escenarios en donde la categorización de las unidades de paisaje coadyuven las acciones de conservación prioritaria.

Uno de los primeros pasos para la conservación de cualquier tipo de ecosistema es conocer su estado general, la existencia o no de un marco normativo y sus usos actuales, estas circunstancias motivaron el desarrollo de la presente evaluación, donde se dan a conocer sus propiedades fundamentales y el potencial natural que tiene cada complejo territorial de humedal para cada tipo de gestión, optando por llevar a cabo la investigación desde el enfoque teórico-metodológico de la Geoecología del Paisaje.

Esta investigación se realizó a través de cuatro objetivos particulares, el desarrollo de cada uno presento resultados relevantes que se redacta en forma de un artículo específico, de manera que se pueda captar rápidamente la importancia del trabajo y favoreciendo la lógica del contenido; antecedidos de una introducción donde se ofrece un panorama general para entender mejor el desarrollo del trabajo. En resumen se pueden describir los capítulos de la siguiente manera: conocer cómo se estructura el territorio, es decir que existe, para lo cual se caracterizó el territorio de Bacalar maquilándose el mapa tipológico de las unidades de paisaje físico-geográfico escala 1: 250 000; posteriormente se buscó conocer el grado de alteración del paisaje a causa de las actividades antrópicas, calculándose el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal, donde se puede denotar con mayor facilidad las acciones modificadoras del hombre.

Otro punto necesario y de sumo interés, fue conocer las dinámicas de las interrelaciones de las unidades tipológicas del mapa de paisaje, es decir, cómo funciona el territorio de Bacalar, por medio del cálculo de la heterogeneidad geoecológica. Con estos tres objetivos se entrega el conocimiento de los atributos del paisaje, el cual podemos traducir como un inventario geoecológico, llenando un vacío de conocimiento. Esto en sí es un aporte significativo, sin embargo, la investigación tuvo mayores alcances, aplicándose en el paisaje de humedal, en donde los tres primeros objetivos alcanzados sirvieron como insumos para la evaluación de los paisajes de humedal, permitiendo establecer la capacidad de cada potencial natural específico, determinada por sus propiedades y características geoecológicas generales.

INTRODUCCIÓN

La acción modificadora del hombre sobre el medio natural ha propiciado una continua y constante degradación de los paisajes, en donde la falta de planificación espacial y del indiscriminado uso de la tierra, tienen como consecuencia el deterioro de los ecosistemas con un mayor impacto de los fenómenos naturales (inundaciones, deslizamientos de tierra, incendios forestales, olas de calor, etc.) (Bastian et al, 2012); en este orden de ideas, se tiene que uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad, oferta y servicios ecosistémicos brindados es el humedal (Quintana, 2018).

La presente tesis surgió a partir del interés científico acerca de las acciones que impactan a los paisajes de humedal en el Municipio de Bacalar, Quintana Roo. La relevancia del tema quedó de manifiesto al examinar las regulaciones e instrumentos normativos relacionados con la base biofísica del territorio del municipio, dentro del cual se encuentran los humedales. Durante esta búsqueda se identificó un vacío de conocimiento no solo del marco regulatorio, si no de los aspectos geográficos integrales del municipio.

Es por la falta de una cartografía básica sólida y la gran importancia que representan los humedales para el municipio de Bacalar, que esta investigación se dio a la tarea de realizar la base geográfica, ecológica y biofísica, para la evaluación de su estado actual; produciendo la delimitación espacial de las unidades de paisaje físico-geográfico, utilizadas como punto de partida del análisis.

Es importante mencionar como se eligió la metodología, ya que existen diversas perspectivas para analizar nuestro entorno, en este contexto se evaluó qué enfoque de la geografía física y la geografía ambiental, sería el más adecuado para describir el territorio de Bacalar y lograr los objetivos de esta investigación. Finalmente se optó por el enfoque de la Geoecología del paisaje, no solo por su sólida estructura de preceptos, conceptos y teorías que permiten sistematizar las múltiples variables del territorio, sino porque también facilita la inclusión del especto antropogénico.

Como ya se mencionó, el enfoque geocológico del paisaje tiene conceptos muy bien asentados dentro de las teorías utilizadas por la geografía física y ambiental, por lo cual se incluye un marco referencial, donde se da el preámbulo un breviario de términos referidos en el desarrollo del presente documento, también se incluye brevemente el marco teórico de la investigación, para contextualizar el desarrollo del trabajo.

Cabe mencionar que los principales objetos de estudio son el paisaje y los humedales. Esta investigación explora la interrelación entre ambos, analizando cómo la unidad de paisaje contribuye a la dinámica y configuración de los humedales, al igual que la importancia fundamental en la biodiversidad y su protección, para mantener los servicios que ofrecen estos ecosistemas

Para el logro de los objetivos planteados se estructuraron cuatro capítulos, redactados en forma de artículos, logrando con esto un contenido conciso y directo, fomentando una secuencia sistemática de la información. En el primer capítulo se construye un inventario físico del territorio del municipio de Bacalar, donde después del trabajo de gabinete y campo se realiza la cartografía del paisaje; en el segundo capítulo se estudia el estado de perturbación del territorio por medio de un índice que mide las acciones antropogénicas sobre la cobertura vegetal. Posteriormente se buscó conocer cómo trabaja el paisaje y cuál es su dinámica, calculando sus índices de heterogeneidad; finalmente con la suma de los objetivos anteriores se delimita el paisaje de humedal, se conoce su estado de antropización, y la dinámica de las partes que lo componen; esto con el objetivo de conocer cuál es el uso potencial o de conservación de cada una de las categorías resultantes.

Planteamiento del problema

Los humedales resaltan por su importancia como geosistemas vitales, pero al mismo tiempo se puede señalar su vulnerabilidad y amenaza debido a la intervención humana. Brena (2016) menciona que, en los últimos 100 años, el 50% de la superficie categorizada como humedal ha sido destruida, lo cual se puede atribuir a la priorización de la eficiencia económica sobre la preservación ecológica (Domínguez, 2004). Además de la insuficiente inclusión de criterios ambientales en las políticas públicas, lo que ha dejado de lado las consecuencias negativas para el medio ambiente (Guevara, 2005).

Con esto se pone de manifiesto la tensión entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental, donde la gobernanza apropiada es fundamental para promover el desarrollo sostenible, asegurando que las decisiones económicas se tomen teniendo en cuenta la conservación de los ecosistemas y sus servicios para la preservación del medio ambiente. Esto requiere un enfoque que priorice la sustentabilidad y reconozca el valor de los servicios esenciales (United Nations Environment Programme, 2013). En este contexto, se ha establecido la Agenda 2030, que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, desglosados en 169 metas (ONU, 2015). El Objetivo 15, "Vida de ecosistemas terrestres," busca proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, planteado para alcanzarlo en el año 2030. Esta investigación se alinea con dicho objetivo, al evaluar el potencial natural de los paisajes de humedal para su conservación.

La convención de Ramsar de 1971 subraya la importancia de los ecosistemas de humedal, siendo el único tratado a nivel mundial enfocado específicamente en un tipo de ecosistema, al presente 172 países integran esta comisión; en donde cada uno designa sitios de humedales de importancia internacional, cada autoridad nacional es la encargada de crear e implementar las políticas y medidas de conservación en estos sitios.

Examinando el marco normativo en México con competencia en los humedales, tenemos que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), formula políticas ambientales, herramientas y directrices que faciliten la gestión adecuada de estos ecosistemas, con la colaboración de organismos descentralizados como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), quien es responsable de la administración de áreas protegidas, incluyendo a los humedales, Además, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) actúa como un órgano intersecretarial que promueve la investigación y la gestión sustentable de la biodiversidad, apoyando la creación de políticas informadas y efectivas.

Asimismo, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene competencias específicas en la gestión de cuerpos de agua, incluyendo la delimitación y el inventario nacional de humedales. CONAGUA es responsable de regular el uso y la protección de los recursos hídricos, lo que es fundamental para la conservación de los humedales, ya que estos dependen en gran medida de la calidad y disponibilidad del agua.

A nivel estatal, en el caso específico de Quintana Roo, la institución encargada de llevar a cabo acciones encaminadas a preservar y restaurar el equilibrio ecológico, incluyendo la conservación de los humedales, es la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) a través de programas de ordenamiento regional y local, realizados por los gobiernos municipales, lo que permite una gestión más adaptada a las particularidades de cada región. En caso específico del municipio de Bacalar, existen documentos y planes que abordan acciones parciales dirigidas a la protección del territorio y de sus ecosistemas.

En 2005, cuando en el territorio de Bacalar aun formaba parte de su ahora municipio colindante Othón P. Blanco, se caracterizó únicamente una franja que abarcaba desde el noroeste de la bahía de Chetumal hasta el noroeste de la localidad de Pedro Antonio Santo, de la región de la laguna de Bacalar (POET). Más tarde, en 2012, se presentó el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Bacalar, que únicamente incluyó la etapa de caracterización (POEL, 2012). Sin

embargo, a pesar de la existencia de estos documentos y esfuerzos, aún no se ha desarrollado un ordenamiento ecológico que abarque la totalidad del territorio del municipio de Bacalar. Esto es una limitante importante, ya que un ordenamiento integral es fundamental para establecer áreas de conservación y protección específicas para los humedales.

Un factor común que persiste después de la revisión del marco normativo y técnico aplicable a la preservación y uso sostenible de los humedales consiste en que el primer paso para la conservación es adquirir un conocimiento profundo del territorio, lo que incluye su delimitación precisa. Para lograr este objetivo, se han desarrollado diversas herramientas enfocadas en la clasificación y caracterización de humedales a nivel global, principalmente con fines de investigación y protección (Vásquez, 2013). No obstante, su clasificación refleja una gran complejidad, dada la diversidad y sus particularidades, ya que esto no permite establecer un sistema único de clasificación que se aplique de manera universal (Alfonso, et al., 2015). En la consulta de la literatura se tiene que se han identificado hasta 18 sistemas de clasificación de humedales en distintas partes del mundo, la mayoría de ellos diseñados para atender necesidades de manejo específicas y adaptadas a las características particulares de cada región (Berlanga, et al., 2007).

Derivado de la revisión de la literatura especializada en el tema, se optó por un enfoque que a través de los atributos físicos del espacio geográfico pueda explicar el funcionamiento de los ecosistemas, que, en la Geoecología del Paisaje, se conoce como geosistema, que considera que los paisajes naturales pueden asimilarse a los ecosistemas (Troll, 1938), enfoque donde "se reconoce la necesidad de una convergencia entre Geografía física y la Ecología" (Gómez et al., 1982). Se puede decir entonces que desde los términos del enfoque geoecológico se busca definir a los paisajes de humedal y evaluar sus potenciales naturales, esto permitirá que mediante sus características geoecológicas se puede determinar en qué régimen de utilización se pueda clasificar, es decir, conservación, aprovechamiento, restauración, conservación o protección.

Es entonces necesario precisar que el enfoque geocológico cuenta con marcos teórico-metodológicos que definen al paisaje como una unidad de análisis “mediante la cual se puede calcular, comparar y evaluar el potencial de recursos naturales de un territorio asociado espacialmente y subordinado a las regularidades de su formación y diferenciación” (Bollo y Hernández, 2008 pág. 8). En este orden de ideas se puede que entender las formas e interacciones de la naturaleza y sociedad es el objeto de estudio de la geografía desde sus primeras conceptualizaciones, comenzando desde los postulados de Humboldt, Ritter, Vidal de La Blanche, hasta las miradas de Milton Santos, Salinas, Mateo entre otros.

A nivel internacional se puede encontrar estudios de paisaje donde se plantea la conservación del medio ambiente como el llevado a cabo en la isla Izena, Japón (Takeuchi, 1983); a nivel latinoamericano, se encuentra el caso de estudio en el municipio Paranaíba, Ms, Brasil, en donde la evaluación del paisaje coadyuvo al desarrollo de actividades recreativas (Salinas, Mirandola, De Souza y García, 2019); en Cuba el enfoque geocológico ha sido ampliamente utilizado algunas de las aplicaciones que ha tenido son el estudio de potenciales agropecuarios y forestales (Arceo et al., 1994; Almeida, Martín y Cárdenas, 2016).

Este marco metodológico se ha empleado en México en un Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, en donde se realiza la regionalización ecológica nacional identificando áreas de vigilancia preponderante y el territorio con la capacidad para soportar determina actividad (Hernández, Bollo, Méndez y López, 2013). Se pueden encontrar estudios a nivel estatal empleados para diversos objetivos como conservación de la geodiversidad (Ramírez-Sánchez, Priego-Santander, Bollo, Castelo-Agüero, 2016) sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas (Flores, 2016), entre otros.

Actualmente en el estado de Quintana Roo no existe ningún trabajo acerca de la evaluación de los paisajes; sin embargo, existe un trabajo en donde se tomaron en cuenta cuatro geocomponentes: geología, relieve, suelos e hidrología para establecer la relación entre biodiversidad y geodiversidad del estado de Quintana

Roo; estos resultados evidenciaron la alta geodiversidad presente en el municipio Bacalar (Fragoso, *et. al.*, 2014).

Este tipo de evaluación también se ha aplicado para un conjunto de 12 municipios como en el Proyecto Tarahumara Sustentable (Priego Santander, Isunza Vera, & Troche Souza, 2018) aplicando las características físicas y biológicas como potenciales naturales, como la base de una primera etapa del ordenamiento ecológico. Esta metodología también se ha trabajado a nivel cuenca con el fin de conocer la situación ambiental de la cuenca del río Santiago-Guadalajara (UNAM-CIGA-SEMARNATSEMADET, 2017) y como base para la planificación de las actividades de ganadería bovina en las cuencas costeras de Veracruz en el Municipio de Actopan (Travieso-Bello, Priego-Santander y Moreno-Casasola, 2009).

Sin embargo, falta información que permita conocer la relación los potenciales de conservación de los paisajes de humedal, por lo cual después de explorar metodologías para la valoración del paisaje se optó por el enfoque geocológico para realizar la evaluación del potencial natural del paisaje como base biofísica que estudie las características intrínsecas de los geocomplejos para su posterior zonificación de potenciales naturales para gestión de actividades como protección, conservación, restauración y aprovechamiento funcional.

Justificación

La presente tesis responde a la necesidad de evaluación territorial del municipio de Bacalar, en donde a partir de información de suelo, clima relieve, litología, edafología y algunos otros elementos; se produjo nueva información sobre el funcionamiento del medio físico natural, nombrándolo paisaje, que en el desarrollo de este trabajo se utilizó para conocer los potenciales naturales compatibles con los tipos de gestión ambiental de los paisajes de humedal.

Debido a esta perspectiva pragmática, metodológicamente esta investigación se desarrolló desde los conceptos y preceptos de la geoecología del paisaje, puesto que es un enfoque que estudia al paisaje de manera ecológica funcional y geográfica estructural produciendo así un análisis integral que arrojó valores cuantitativos y cualitativos de los recursos naturales.

Con esta investigación se aporta una base biofísica en donde la delimitación de los paisajes de humedal se establece en función de las unidades de paisaje físico-geográficas, el estado de antropización, la heterogeneidad paisajista estableciendo modelos vinculados a los potenciales naturales del paisaje de conservación; además de abonar a la evidencia empírica a la metodología que utiliza como unidad de análisis al paisaje.

Los alcances presentes, son relevantes para la academia, sociedad en general y gobierno y/o tomadores de decisiones; quienes contarán con información útil y fiable que se podría utilizar, con las debidas adecuaciones, en la correcta orientación de utilización de los recursos naturales, conociendo los servicios ecosistémicos.

Preguntas de investigación

Después de revisar la problemática planteada, surgió la pregunta rectora de la investigación, que para ser respondida se plantearon preguntas particulares que ayudaron a estructurar el esquema de investigación.

¿La evaluación de los atributos físico-geográficos del paisaje determina la categorización de gestión de los paisajes de humedal?

Preguntas secundarias.

- ¿Qué tipos de paisajes físico-geográficos componen el territorio del municipio de Bacalar, Quintana Roo?
- ¿Cuáles son las unidades de paisaje con mayor antropización en la zona de estudio?
- ¿Qué características de heterogeneidad geoecológica configuran el paisaje del municipio de Bacalar?
- ¿Cuáles son los potenciales naturales de las unidades compatibles con cada tipo de gestión?

Objetivos

General.

Evaluar el potencial del paisaje de humedal en el municipio de Bacalar para su categorización de conservación

Particulares.

- 1- Caracterizar la estructura físico-geográfica de los componentes del paisaje del municipio de Bacalar para diferenciarlos espacialmente y cartografiados.
- 2- Calcular el grado de transformación del paisaje mediante el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal para la identificación de los espacios geográficos con mayor actividad humana del municipio de Bacalar.
- 3- Estimar la heterogeneidad Geoecológica a través de índices compuestos del paisaje en el municipio de Bacalar para conocer su funcionalidad.
- 4- Determinar las categorías de gestión de acuerdo con los potenciales naturales de paisajes de humedal del municipio de Bacalar.

Marco referencial

En este capítulo se exponen las investigaciones previas sobre los conceptos de investigación, el desarrollo del enfoque geográfico, análisis de las teorías implícitas y conceptualizaciones que enmarquen el sustento teórico; y a través del cual, posteriormente, se interpretaran los resultados.

Antecedentes

Existen diversos enfoques metodológicos que evalúan los paisajes mediante el análisis de la interrelación entre el sistema natural y el sistema social (Zonneveld, 1998; Consejo de Europa, 2000; Vallés et al., 2012). En el campo de la ecología ambiental, la valoración de los recursos naturales a menudo se realiza en función del costo-beneficio económico, sin otorgar la debida importancia al papel crucial que desempeña la biodiversidad (Figueroa, 2005).

Estas evaluaciones se llevan a cabo utilizando diversas técnicas, que van desde la subjetividad de las preferencias estéticas del observador hasta la valoración por componentes específicos (Crofts, 1975). Las clasificaciones parciales basadas en componentes naturales consideran las particularidades de geocomponentes como el suelo, la vegetación, el clima, el relieve, la geología, la hidrología, la estética, entre otros (Muñoz, 2004; Aguilar, 2006; Mata, 2006; Aguilar, Olvera, Galindo, 2013; Fernández, 2013; Orozco, Cerón, Martínez y Ospina, 2015; Zubelzu y Hernández, 2015).

Esto se debe a la naturaleza y el objeto de estudio de sus investigaciones; en contraste el enfoque paisajístico otorga un peso equitativo a todos los componentes, integrándolos en una perspectiva espacial que ayuda a aclarar las propiedades inherentes del geosistema en su totalidad (Priego et. al, 2004).

Por lo anterior se opta por la Geología de paisaje, que es una perspectiva relativamente nueva, sin embargo, se han llevado una variedad de investigaciones a escalas nacional, regional, estatal y local, con diferentes objetivos y desde distintas líneas de investigación entre las que encontramos principalmente: Gestión Ambiental y Ordenación del Territorio, Valoración de las actividades humanas sobre los geosistemas, patrones y procesos del paisaje y su relación con la sostenibilidad, mapeo y análisis de los paisajes y las estrategias implementadas, a partir del estudio del paisaje, para la protección de la biodiversidad en los ecosistemas (Martínez, 2017). A continuación, se presenta un resumen de la literatura más sobresaliente, en los tópicos antes mencionados (Tabla 1).

Tabla 1: Estudios diversos sobre el Potencial natural del Paisaje

Titulo	Fecha	Objetivo	Escala	Referencia
Landscape planning methodology based on Geoecological land evaluation.	1983	Planificación del paisaje orientado a la conservación del medio ambiente y paisajes naturales a través de unidades biofísica de la tierra y uso ecológico de la tierra realizando una evaluación de la calidad del potencial y el adecuado uso de la tierra.	Internacional	Takeuchi, K.
Evaluación de potencial natural de los paisajes para la actividad agropecuaria en el ejemplo del municipio Yaguajay, (provincia Sancti-Spiritus, Cuba)	1994	La adopción de un enfoque integral del paisaje, junto con la evaluación de sus potenciales naturales, ofrece importantes beneficios para la planificación territorial a nivel intermedio. Este enfoque es particularmente adecuado para las características físico-geográficas y socioeconómicas específicas de Cuba, y se enmarca en los estudios orientados a la creación de planes directores para el desarrollo municipal en el corto y mediano plazo.	Latinoamérica	Arceo, Sara Salinas, Eduardo

Evaluación del potencial ecoturístico de un sector de la región sierra-costa de Michoacán	2008	Conocer y evaluar los potenciales naturales para algunas actividades ecoturísticas y de turismo de aventura en un sector de la costa Michoacán.	Regional	Acosta Villegas, María Alejandra.
Potencial natural del territorio: base para el ordenamiento de la ganadería bovina	2009	Evaluar la compatibilidad espacial entre el uso actual del suelo y su capacidad natural para la ganadería bovina en las cuencas costeras del municipio de Actopan, Veracruz, México, proponiendo un reordenamiento ecológico de dicha actividad en la región.	Regional	Travieso Bello, Ana Cecilia Priego Santander, Ángel Guadalupe Moreno Casasola, Patricia
Evaluación de potenciales naturales en el ordenamiento ecológico territorial: noroeste del Estado de Chiapas, México.	2010	Definir la distribución espacial de las actividades humanas según los potenciales y limitaciones del territorio.	Regional	Bollo Manet, Manuel Hernández Santana, José Ramón Méndez Linares, Ana Patricia
Zonificación funcional Ecoturística de la Zona Costera de Michoacán	2013	Establecer la zonificación funcional de la región costera de Michoacán, México, a partir de la tipificación de los paisajes costeros.	Regional	Flores, Domínguez, Ángel David
Clasificación de áreas potenciales para reforestación en la serranía del Uchumachi, región Nor Yungas, departamento de La Paz, Bolivia	2013	Reconocer y categorizar zonas prioritarias para la reforestación, con el fin de planificar una recuperación sectorial de las áreas degradadas en la serranía del Uchumachi.	Internacional	Kutchartt-Ruedlinger (2013)
Uso ambientalmente recomendado de las unidades de paisaje para las actividades	2016	Analizar el potencial natural del municipio de Los Palacios para desarrollar actividades	Municipal	Almeida-Martínez, Idalmis

agropecuarias y forestales en el municipio Los Palacios, Cuba		agropecuarias y forestales.		Martín-Morales, Gustavo Cárdenas-López Obllurys
Evaluación de la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos en la cuenca del río Grande, Oaxaca, México	2016	Examinar la aptitud natural o vocación del territorio para proponer patrones de ocupación que se ajusten a sus condiciones inherentes.	Regional	Pablo Pablo, Marco Antonio Hernández Santana José Ramón
Potencial para la conservación de la geodiversidad de los paisajes del Estado de Michoacán, México.	2016	Se calculó un valor específico para cada unidad de paisaje en la evaluación de la geodiversidad, con el objetivo de generar un mapa integrado que represente su potencial natural.	Estatal	Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, A. G., Bollo, M. Castelo-Agüero, D. C.
Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas del estado de Puebla, México.	2016	Evaluar el potencial agrícola de unidades de paisaje en Puebla y la compatibilidad agrícola de unidades con agricultura de temporal.	Estatal	Flores Domínguez, Ángel David
Situación ambiental de la cuenca del río Santiago-Guadalajara	2017	Crear un Programa de Manejo Integral para la cuenca del río Santiago-Guadalajara que facilite el desarrollo de actividades productivas, proteja y conserve los recursos naturales, especialmente el agua, y eleve la calidad de vida de los residentes, todo enmarcado dentro del desarrollo sostenible de la cuenca.	Regional	Bollo, M., Montaña, R., & Hernández, J. R. (2017). UNAM CIGA SEMARNAT SEMADET
Bases biofísicas para el ordenamiento ecológico de los 12 municipios de influencia del	2018	Investigar la estructura, composición y distribución espacial de los paisajes físico-	Regional	Priego Santander, A. G., Isunza Vera, E., &

<p>Proyecto Tarahumara Sustentable (Informe final)</p>		<p>geográficos del territorio y sus potenciales naturales, como base biofísica para las fases posteriores del ordenamiento ecológico.</p>		<p>Troche Souza, C. H. (2018)</p> <p>Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas (CONANP)</p> <p>World Wildlife Fund (WWF)</p> <p>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)</p> <p>Global Environment Facility (GEF)</p>
<p>El estudio de los paisajes como fundamento para la evaluación del potencial turístico del municipio Paranaíba, Ms, Brasil.</p>	<p>2019</p>	<p>Se realizó una evaluación geoecológica de los potenciales turísticos, empleando una serie de indicadores integrados que fueron obtenidos a partir del mapa de paisaje. Esto permitió formular una propuesta de actividades recreativas a desarrollar y definir su grado de intensidad.</p> <p>4o mini</p>	<p>Latinoamérica-Municipal</p>	<p>Salinas, Mirandola, De Souza y García, (2019).</p>

Fuente: Elaboración propia

Enfoque geográfico

La expresión paisaje puede llegar a tener a diversas acepciones y puede ser utilizado como concepto, enfoque teórico, unidad de análisis y/o método, que al igual que otros objetos de estudio de la geografía ha evolucionado desde sus primeras concepciones, buscando teorías con distintos enfoques para poder explicarlo,

conceptualizarlo, analizarlo, describirlo e identificar la estructura, función y desarrollo de este. A continuación, se realiza un repaso breve de la evolución del término en la geografía y sus diferentes escuelas.

Continuando con la idea que el estudio del paisaje se ha llevado a cabo bajo diversos enfoques, se tiene que la primera concepción del espacio fue como algo pictórico en un periodo comprendido del siglo XV al siglo XVII en Inglaterra, y comenzando como principios científicos desde el siglo XVIII hasta la fecha (de Bolós, 1992).

De acuerdo con Frolova (2006) la percepción científica de paisaje (Landschaft) surge en la lejana Rusia entre los siglos XIX y XX. Tomando la escuela alemana fundada por Alexander Von Humboldt y Carl Ritter, quienes hacen una descripción geográfica en dos aspectos, metodológico y espacial, la descripción geográfica comparativa busca englobar la realidad geográfica, tanto natural como humana.

Es comprensible que la Geografía del paisaje tenga sus inicios en Rusia, ya que surge de la necesidad de conocer y entender territorios amplios y poco habitados. El principio de análisis integral del territorio es establecido por el edafólogo ruso V.V. Dokuchaev, quien declaró que el paisaje es el reflejo de complejas interacciones entre los componentes naturales al igual que el suelo, que implica la noción de síntesis geográfica. Con una visión científica integral de la naturaleza, alejada de la antigua concepción del paisaje ligada a la visibilidad (Frolova, 2006).

En el trabajo de Siegfried Passarge (1866-1958) se encuentra el término *Vergleichende Landschaftskunde*, en alemán común "landschaft significa "paisaje", utilizado por geógrafos; pero además la palabra llegó a ser el equivalente de "medio ambiente" y "región", en el sentido que es un área definida de la superficie de la tierra que incluye los fenómenos naturales, al hombre y sus actividades. Por lo tanto, el trabajo de Passarge tiene que ver con determinación y estudio del "landschaften", claro este no es un término nuevo, pero el adjetivo "vergleichende", *comparación*, ayuda al desarrollo de nuevos métodos para el establecimiento de tipos de regiones y la comparación de regiones del mismo tipo (Unstead, 1931).

En su obra *Objeto y problemas de la geografía* de 1915, Lev Semionovich Berg, señala que el objeto integrador de la geografía es el paisaje (Landschaft), y su método (la regionalización), que refleja el propósito de sus investigaciones y define su singularidad en comparación con otras disciplinas. Concepciones parecidas a las desarrolladas por Dokuchaiev y A. Hetter, quien propone a las unidades espaciales de escalas diferentes, como objeto de estudio de la geografía (Frovola, 2001).

Como ya se vio hasta aquí las escuelas rusa y alemana, son las pioneras en estudio de paisaje, pero además de estos enfoques existen otras escuelas que han desarrollado este conocimiento, Bocco et al. en su trabajo de 2010 hace una síntesis y análisis de las principales escuelas y sus aportes a este concepto (Tabla 2).

Tabla 2: Escuelas del paisaje

Escuela	Aportaciones
Enfoque LANDEP (Landscape Ecological Planning) (Escuela de la antigua Checoslovaquia)	En la antigua Republica Socialista de Checoslovaquia, específicamente en el Instituto de Ecología del Paisaje de la Academia de Ciencias, finales de la década de los 70, surge el enfoque LANDEP; aquí se desarrolla un método para integrar sistemas territoriales socio-naturales, que sirvan para satisfacer tanto las demandas de desarrollo socioeconómico como de resguardo de la naturaleza.
Enfoque de ecología del paisaje (escuela de la ex Alemania Oriental)	La idea central de la escuela de Geoecología o Ecología del Paisaje, que fue originada en la década de 1960 por geógrafos de la antigua Alemania Oriental, es el “topo”. Esta escuela se caracteriza por su notable atención al detalle, entendiendo el “topo” como esferas parciales de geocomponentes que conforman un todo integral en la superficie terrestre.
Levantamiento de tierras (Land system, escuela australiana)	Entre 1943 y 1945 se diseñó el levantamiento de tierras, apoyándose en el uso sistemático de fotografías aéreas. Buscan reconocer las características de un continente, para ese entonces con muy poca población, por medio de la fotointerpretación; de carácter de este enfoque del tipo fisionómico y fisiográfico.
Levantamiento geomorfológico	Su objetivo es la delimitación de unidades físico-ambientales y fue establecido por el Instituto de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la

(Geomorphological survey, escuela holandesa)	Tierra (ITC) en ese momento, planteando como origen de los datos para el estudio integral del entorno con fines de administración de recursos.
Enfoque morfopedológico (mophopédologie, sensu Tricar y Kilian; escuela francesa)	Creado en el Centro de Geografía Aplicada (CGA) de la Universidad de Estrasburgo, Francia, el enfoque morfopedológico se fundamenta en el equilibrio entre la morfogénesis y la pedogénesis, propuesto por Tricart en 1965. Ambos procesos, influenciados por factores como el clima, la vegetación, los materiales litológicos y la acción humana, ocurren en el mismo entorno. Este equilibrio ofrece consideraciones importantes sobre la fragilidad de las unidades cartográficas.
Levantamiento de ecología del paisaje (Landscape ecological survey)	Carl Troll definió el concepto de ecología del paisaje en 1950 como el análisis de las interacciones físico-biológicas que controlan las distintas unidades espaciales de una región. Este enfoque plantea que las relaciones ambientales son verticales dentro de cada unidad espacial y horizontales entre las diferentes unidades espaciales.
Levantamiento geopedológico (Geopedologic survey sensu Zinck)	Propuesto por Zinck en 1988, el Levantamiento geopedológico es un sistema jerárquico de clasificación que se utiliza como apoyo en el estudio de suelos y recursos naturales. Basado en la observación superficial de diversos aspectos del entorno, reconoce seis niveles de categorización. Los taxones y niveles categóricos se aplican de manera sistemática para representar las unidades contempladas en cada nivel jerárquico.

Fuente: Elaboración propia con base en Bocco et al 2010.

De la Geografía física compleja a la Geoecología del paisaje.

La **Geoecología del Paisaje**, tiene sus antecedentes en la **Geografía Física Compleja**, que se basa en el estudio de los paisajes. Para comienzos del siglo XX, las investigaciones de esta disciplina rompen con la naturaleza integradora de la geografía y se retira de la dimensión social y humana. Es en los años 30 retoma importancia y se vuelve a formar en la Unión Soviética, Alemania y los países de Europa Oriental, tomando de nueva cuenta al paisaje para su análisis (Mateo, 2002).

La **Geografía Física Compleja** es una ciencia que estudia los elementos del entorno natural, es decir, los componentes interconectados e interactivos de este (Richlin, 1983). La capa tridimensional que incluye la litosfera, atmósfera e hidrosfera, así como la biosfera que se desarrolla dentro de esta “capa”; se constituye como el objeto de estudio de este enfoque. (A.G. Ischenko, 1965, citado por Richlin 1983).

Con el endurecimiento de la ciencia geográfica con la corriente Positivista, las investigaciones geográficas se alinean o a la geografía física o a la geografía humana, hasta que los geógrafos del siglo XIX comienzan a realizar investigaciones integradoras, en donde se conjugan estas dos grandes ramas de la geografía surgiendo así la llamada **Geografía ambiental**.

El enfoque de la geografía ambiental se dirige a analizar el entorno y sitio de las cuestiones ambientales, abordando el ambiente como un constructo social que resulta de la intervención humana. A diferencia de la naturaleza, el sistema biofísico o los ecosistemas, el ambiente incluye las modificaciones que resultan de las actividades humanas (Aguilar, 2009).

Una rama de la geografía ambiental es la que toma al paisaje como su unidad de estudio, con una conceptualización principalmente biológica a la cual se le conoce como **Geografía del Paisaje**, donde el paisaje es el punto de encuentro de las capas de la Tierra que corresponden a la corteza terrestre.

De la geografía del paisaje surgen las bases para una nueva disciplina que, en 1938, Carl Troll, investigador con títulos de geógrafo y biólogo; (Matteuci, 2006), llama la **Geoecología del paisaje**, o ecología del paisaje, sinónimo que algunos autores manejan (Hasse, 1986). En esta nueva geografía se “reconoce la necesidad de una convergencia entre Geografía física y Ecología” (Gómez, 1982), y considera como un todo al paisaje, entendido a través de la interrelación entre la tierra y la ecología. En este contexto, se afirma que los paisajes naturales son comparables a los ecosistemas. Las principales escuelas entusiastas de esta geografía fueron la alemana y rusa (Mateo y Da Silva, 2008).

La **Geoecología** del paisaje es una ciencia que se enfoca en el estudio de los paisajes físico-geográficos, incluyendo los naturales, natural-antropogénicos y antropogénicos (geosistemas), a niveles global, regional o local. Esta disciplina considera el entorno tanto como el medio de vida del ser humano como el contexto para las actividades socioeconómicas. Su propósito es establecer principios teóricos, directrices para la gestión ambiental, fomentar el desarrollo sostenible de la sociedad y optimizar la utilización de los recursos. (M.D. Andreev, 2012).

La ciencia del Paisaje reúne dos enfoques:

- **Enfoque paisajístico** (estudia la diferenciación espacial de los complejos naturales en la superficie terrestre.
- **Enfoque ecológico** (estudia las interrelaciones funcionales de los fenómenos naturales como sistemas ecológicos).

Teoría General de Sistemas

El Enfoque Sistémico es una concepción científico-metodológica que centra su atención en el análisis de los sistemas considerados como totalidades. La totalidad, regula el funcionamiento de las partes o aspectos que la integran, definiendo los atributos y tiene características propias que trascienden las que sus componentes aportan.

Entiéndase entonces la teoría de los sistemas aplicada al paisaje geográfico. Como lo muestra Llanes en 2011:

En la década de los años 70, la teoría de los sistemas influye en el tratamiento del paisaje geográfico, asimilando este concepto al de “geosistema”. Para decirlo con palabras simples es un conjunto de elementos interrelacionados, que interactúan entre sí debido a la energía solar y gravitacional, y a la información que le viene del exterior. Esta energía es capaz de movilizar a los elementos, que se transforman en materia dinámica, de tal modo que se establece un intercambio de energía y materia constante, que le da al

“geosistema” su equilibrio. Cuando estos parámetros de energía, materia e información se modifican, también lo hace su estabilidad.

El paisaje como Geosistema

En 1936, el geógrafo soviético Víctor Sochova introdujo el concepto de Geosistema, el cual se entiende de forma sistemática y considera el paisaje como una integración de múltiples variables organizadas a un alto nivel de complejidad, compuesto por elementos funcionales y subsistemas. Este concepto se fundamenta en la Teoría General de Sistemas y en la idea de modelos, cuyo objetivo es comprender el funcionamiento de la superficie terrestre a través de las relaciones de causa y efecto y la interacción entre sus diversas partes (de Bolós, 1992).

Las entidades antrópicas (sociedad), bióticas (biosfera) y abióticas (litósfera, atmósfera e hidrosfera) y sus interrelaciones constantes están dadas dentro del Geosistema. Estas interrelaciones dan lugar a cambios cualitativos y cuantitativos que definen la estructura terrestre. Estos atributos Sistémicos del Paisaje han permitido establecer cinco enfoques en la Geoecología (Mateo, 2002) (Tabla 3).

Tabla 3: Atributos sistémicos del paisaje

Enfoque	Conceptos básicos	Métodos	Índices
Estructural	Estructura horizontal y vertical Organización geosistema, estructura monosistémica y parasistémica de los paisajes	Análisis de las estructuras paisajísticas. Clasificación, tipología y regionalización Cartografía de los paisajes	Coherencia, dominancia paisajística geoecológica complejidad, vecindad, forma de los contornos, conexión, integridad.
Funcional	Genesis, funcionamiento, estructura funcional, relaciones funcionales, balance de EMI, procesos geoecológicos.	Investigaciones estacionarias. Análisis geofísico, funcional y geoquímico.	Procesos geoecológicos degradantes, problemas geoecológicos, formas de configuración paisajística, función geoecológica, degradación geoecológica.

Evolutivo-Dinámico	Dinámica temporal, estados temporales, evolución, edad.	Análisis evolutivo, paleogeográfico, estacional, dinámico, retrospectivo.	Hileras dinámico-evolutivas, índice de variación estacional, edad ontogénica y filogenética, tendencias evolutivas, Ciclos anuales, estado dinámico del paisaje geohorizonte, estados de desarrollo, geomasa.
Informacional	Resiliencia Sustentabilidad geocológica Mecanismos de regulación Autorregulación Paisaje sustentable Homeostasis	Cálculo de la estabilidad Análisis paisajístico integral Análisis informacional	Solidez o resistencia Calidad de los paisajes Elasticidad Estado homeostático Soportes del paisaje Vulnerabilidad Reserva geocológica Medios de defensa Estabilidad natural integral Retroalimentación Estabilidad tecnogénica Plasticidad
Histórico-Antropogénico	Impacto ambiental o geocológicos Antropogenización Transformación y modificación de los paisajes Cambios evolutivos Hemerobia De autoorganización Secuenciales o sucesionales y de adaptación	Estudio de los cambios de los paisajes Análisis histórico y antropogénico	Índice de valor ecológico, coeficiente de transformación antropogénica; paisajes antropogénicos, antro-po-naturales y antrópicos.

Fuente: Elaboración propia con base en Mateo, 2002

Fundamentos conceptuales

En función de proporcionar reglas que ordenen de manera sistemática y coherente los conocimientos paisajísticos que se interrelacionan entre sí, la ciencia desempeña un papel fundamental (Bravo, 1997), Por lo tanto, en este apartado, se busca que, a través de normas, pautas, conceptos y hasta fórmulas matemáticas asociadas a una teoría, formular principios generales que permitan comprender los fenómenos geográficos específicos y su vinculación con el entorno físico (Bolaños, 2002).

En este apartado se contextualizan los términos y conceptos compuestos empleados para definir el objeto de estudio y acotan el desarrollo de la investigación desde la perspectiva de la **Geoecología del paisaje**, desde la cual se aborda esta tesis; estrechamente ligada a la Geografía del Paisajes y la Ecología de Paisaje, con antecedentes en la Geografía ambiental, donde se desarrolla ampliamente los conceptos teóricos del paisaje, (de Bolos, 1992) se describe como la especialidad integral que fundamenta en el análisis del paisaje, ya sea en su estado natural o como una formación de paisaje antropo-natural (Mateo, 2002).

Paisaje

A lo largo del tiempo y según diversas corrientes de pensamiento, las definiciones de "paisaje" han evolucionado, adquiriendo significados más amplios o específicos. Algunos expertos consideran que el paisaje es el objeto central de la geografía, mientras que otros lo ven como solo una parte de su campo de estudio o uno de los múltiples elementos a analizar dentro del marco geográfico.

El paisaje se concibe como un conjunto integrador, al examinarse por sus cuatro dimensiones- interpretativa, ecológica, estética y cultural. Al descomponerlo en sus componentes básicos, se observa que estos elementos son variados: algunos son sólidos, otros líquidos, algunos tienen vida, pero lo fundamental es que cada uno

desempeña una pieza fundamental dentro del orden del esquema geográfico (Tesser, 2000).

Desde el punto de vista de la Geoecología, el **Paisaje** es considerado como:

“Un área de la superficie terrestre de cualquier dimensión, en cuyos límites los diferentes componentes naturales (la estructura geológica incluyendo la litología, el relieve, las masas de aire atmosférico, el clima, las aguas, los suelos, la vegetación y el mundo animal) tanto en estado natural, como modificados y transformados por la actividad humana, se encuentran en estrecha interacción formando un sistema integrado, uno de los tipos de sistemas ambientales y espaciales, el geosistema natural (Timashev, 1999 citado por Mateo, 2008).”

Es relevante mencionar que a lo largo de este trabajo se emplearán como sinónimos de **paisaje** los términos **paisaje geográfico**, **complejo territorial natural (CTN)**, **geocomplejos** o **geosistema**. Estos se definen como un sistema territorial formado por elementos naturales y antropogénicos que están condicionados socialmente y que alteran las propiedades de los paisajes naturales originales (Mateo, 2002).

Paisaje físico-geográfico

Los paisajes físico-geográficos son la base analítica espacial empleada por la Geoecología (Ramírez-Sánchez et al, 2016). A partir de esta cartografía paisajística se han desarrollado amplia gama de estudios, tal es caso del trabajo de Espinoza (2013), que emplea este tipo de cartografía para establecer la tipología de los paisajes antroponaturales en el municipio de Tzintzuntzan y sus alrededores; Flores, (2016) logro establecer a través de esta herramienta, la medición de la sustentabilidad en las actividades agrícolas en paisajes del estado de Puebla, México en 1:250 000 de escala; este cartografía se puede emplear como insumo básico para desarrollar investigaciones de potenciales naturales ya sea para actividades de conservación de geodiversidad, turismo, servicios ambientales, ordenamientos territoriales entre otros (Ramírez-Sánchez, et al., 2016; Flores y

Priego-Santander, 2011; Machuca, 2011, Bollo et al, 2010; Hernández et al, 2012; Morales et al, 2017), esta metodología también puede ser replicada para zonas urbanas, como se observa en el diagnóstico ambiental (geoecológico) de una Zona Metropolitana (Martínez, 2017).

Las investigaciones hasta ahora consultadas han probado ser un instrumento de conocimiento, planeación y ordenación del territorio; es por esto que esta metodología holística se retoma, haciendo las debidas adecuaciones al territorio de Quintana Roo, específicamente al municipio de Bacalar.

Antropización del paisaje

Las actividades humanas y los usos de suelo como la agricultura, ganadería, asentamientos humanos, infraestructura y aprovechamiento de los recursos naturales (Loening y Markussen, 2003; Foley, 2005), son las principales fuerzas modificadores del paisaje teniendo un impacto considerable en el medio ambiente (Juanes-Fuentes, 2014), lo que ha propiciado la pérdida de biodiversidad (Tellería, 2013), cambio climático (Fernández, 2013), la degradación del suelo (Encina e Ibarra, 2003), entre otros acontecimientos negativos. Estos procesos sobre el medio físico han sido condicionados por las necesidades y culturas humanas (Busquets y Cortina, 2009). Para Ramírez-Sánchez (2013), cualquiera de estas acciones humanas sobre los elementos naturales se le considera antropización.

El conocimiento del estado, uso y localización del suelo y la vegetación representan elementos integrales de los recursos básicos del paisaje y su modificación es señalada como uno de los indicadores más significativos de la transformación del paisaje, esto permite evidenciar el grado de degradación presente en cualquier superficie terrestre (Priego et al., 2004).

La diversidad de vegetación de la superficie del municipio de Bacalar se relaciona directamente con sus características geográficas, como la geología, el relieve, el clima, los suelos y la hidrología, debido a que demuestran una dinámica e

interacción que dan lugar a una geodiversidad alta, sobre todo en la zona geológica Oeste de este territorio, el sistema Lagunar de Bacalar y la zona costera con sus ambientes de transición mar-tierra (Fragoso et al., 2014). Sin embargo, se han registrado cambios en las coberturas y usos de suelo del territorio, principalmente se observa un aumento en la superficie correspondiente a la agricultura y pastizal (Batún, 2018).

La alteración causada por la actividad humana ha sido estudiada mediante el análisis de las unidades del paisaje, las cuales se determinan según los usos del suelo y los componentes naturales del entorno físico-biótico. Además, se ha llevado a cabo una evaluación de los impactos ambientales utilizando una matriz de calificación de estos impactos. (Rivera-Pabón y Senna, 2017). Por su parte, Delgado (2018) propone una metodología que permite analizar la relación de biodiversidad-cambios en el uso de suelo, identificando y delimitando la heterogeneidad interna del paisaje basada en el acoplamiento de los sistemas humano-ecológicos.

De la misma manera se han desarrollado índices que abordan el fenómeno de la antropización de una manera integrada y cuantitativa, por ejemplo, el Índice de Hemerobia (IH) propuesto por (Steinhardt et al., 1999) como herramienta para medir la influencia humana en los ecosistemas, se ha empleado en investigaciones que comparan la vegetación actual con su potencial natural. Esto se realiza mediante la evaluación de indicadores específicos que reflejan los cambios ocasionados por la actividad antropogénica, presentándose diferentes grados de Hemerobia (Hill y Thompson, 2002; Csorba y Szabó, 2009; Walz y Stein, 2014; Marino et al., 2017). Otro índice empleado es el Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) “que es una medida de la antropización que integra, tanto los aspectos urbanísticos, como las coberturas vegetales y otro tipo de coberturas y usos del suelo identificables en una unidad del paisaje” (Martínez-Dueñas, 2010, pág. 37), empleado por Plaza-Ortega et al., (2017) para un ecosistema de alta montaña, donde la actividad antrópica no suele tener tanta presencia, resultando con niveles de intervención antrópica bajos.

Otra herramienta que permite medir la acción del hombre sobre el paisaje es el Índice de Antropización de la Cubierta Vegetal del Suelo (IACV), que representa el grado de transformación o reemplazo de la cobertura vegetal natural del suelo (Shishenko, 1988). El uso de este índice permite identificar geocomplejos, los cuales se definen como sistemas territoriales compuestos por elementos tanto naturales como antropogénicos, que generan modificaciones en las características originales de los paisajes naturales (Mateo, 2002); en donde se desarrollan mayores actividades antrópicas, o, por el contrario, que por sus condiciones naturales requieran protegerse o restaurarse (Morales et al., 2019).

El IACV se ha utilizado en investigaciones con diversos fines. Espinosa (2013), determinó el grado de antropización para poder definir la tipología de los paisajes antro-po-naturales del municipio. Ramírez-Sánchez (2013), obtuvo el nivel de alteración de la vegetación en los paisajes físico-geográficos para generar una base de datos espacial, que contribuya a generar estrategias para la distribución de las actividades humanas. También se ha utilizado para evaluar el estado ambiental de los paisajes para posteriormente determinar el grado de sustentabilidad ambiental (Flores, 2016). De igual manera, se ha empleado a partir de metodologías mixtas, obteniendo como resultados valores cualitativos sobre la antropización del paisaje y la percepción que tienen de él sus habitantes (Aguirre *et al.*, 2017). Además, ha sido parte del diagnóstico de las bases biofísicas para informes de proyectos en el territorio Tarahumara (Chávez y Prunés, 2018). Cruz-Paz *et al.*, (2018), utilizan este índice como uno de los elementos de evaluación de la antropización, con un enfoque multicriterio, para identificar las áreas prioritarias de conservación.

Heterogeneidad de los paisajes

Para poder realizar una zonificación de los paisajes físico-geográficos es importante calcular la riqueza de la Geodiversidad presente en el Municipio de Bacalar, Quintana Roo, se comprende como la variedad de rasgos geológicos de una región evaluando su frecuencia, distribución y el proceso de evolución que han seguido, también entendida como diversidad geoecológica (Carcavilla, Durán y López, 2008).

Para asignar zonas según los potenciales naturales, es esencial considerar la heterogeneidad de los paisajes, la cual se refiere a la complejidad derivada de las interacciones entre la distribución de los factores ambientales y la respuesta diversa de los organismos que habitan en entornos altamente variables, tanto espacial como temporalmente (Steward et al., 2000).

Potencial natural del paisaje y zonificación funcional

Uno de los conceptos más importante a definir para esta investigación es el **Potencial natural del paisaje**, el cual es la capacidad para un uso específico, determinado por sus propiedades y características naturales generales (fertilidad, pendientes, erodabilidad del suelo, y otros muchos atributos ambientales e incluso socio productivos), que permiten altos niveles de productividad y eficiencia, sin que ello conlleve a su degradación o a la pérdida de cualquiera de sus valores y atributos

El **Potencial natural del paisaje** es uno de los conceptos clave para esta investigación, el cual se define como la capacidad del paisaje para un uso específico. Esta capacidad se determina por una serie de características naturales generales, como la inclinación del terreno, la fertilidad, la erodabilidad del suelo, y otras características ambientales, sociales y productivos. Estos elementos permiten altos niveles de eficiencia y productividad sin comprometer los valores ni causar la degradación del paisaje (Mateo et al., 1994).

Un concepto clave que se debe abordar es la **zonificación funcional** o **zonificación ambiental**. Este término implica la distribución óptima de los espacios territoriales basada en principios de cohesión y equidad territorial, todo ello con el propósito de asegurar un uso armónico de estos espacios, respetando siempre el equilibrio ambiental (Villegas et al., 2015).

Metodología general

El enfoque de esta investigación será de cuantitativo, se analizan dos variables por lo cual recae en el tipo **analítico, estudio observacional o no experimental**, de acuerdo con Hernández *et. al.* (2010, p 149) “en este tipo de investigación las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas”. El nivel de investigación corresponde al tipo **explicativo** ya que se tratará de explicar las causas de procesos y/o hechos naturales además de correlacionar y asociar los propósitos de estos (Nieto, 2018), se aplicó de manera transversal, ya que esto implica la obtención de datos en un momento específico, es decir se realiza una única medición de las variables de análisis (Hernández, Fernández y Baptista., 2010). **Ambispectivo e inferencial** debido a que, como su nombre lo indica, permite inferir los parámetros metodológicos a otras investigaciones (Romero, Lázaro y Gonzáles, 2009). A continuación, la metodología general (Figura 1):

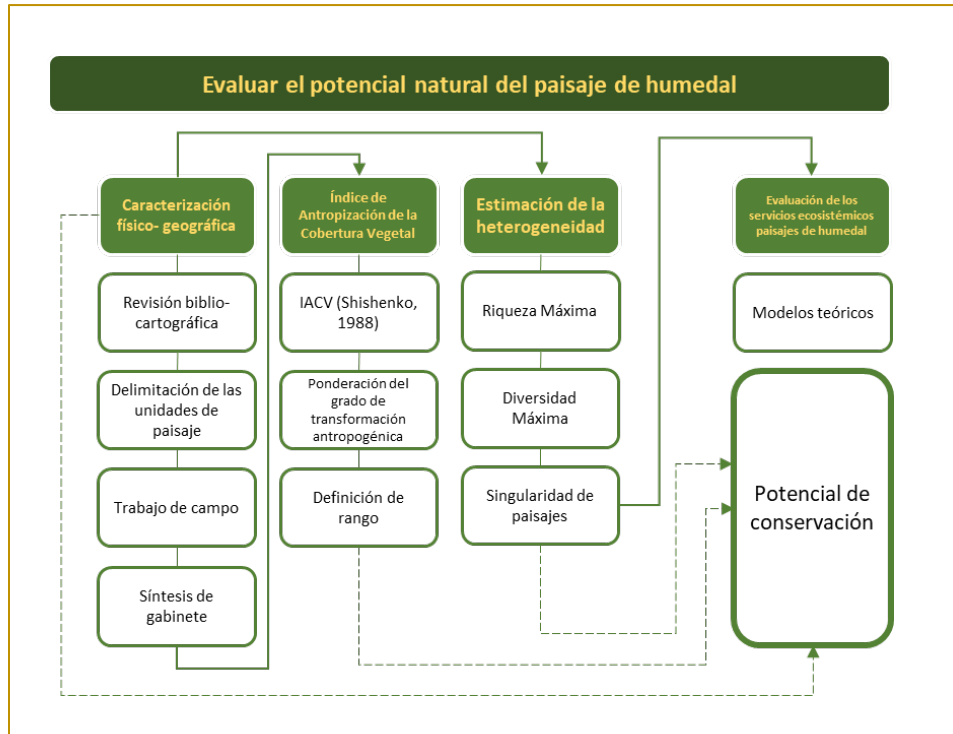


Figura 1: Esquema de la ruta metodológica.
Fuente: Elaboración propia

Área de estudio

Criterios de selección

El área de estudio se seleccionó debido a la atención que está recibiendo el municipio de Bacalar por el turismo, el crecimiento acelerado de construcciones en el litoral de la laguna, cambio en la imagen urbana, cambios de usos de suelo, expansión agrícola, asentamientos irregulares, falta o poca protección de áreas naturales, deterioro ambiental, inundaciones y otros fenómenos de índole natural; en el desarrollo de estas investigaciones falta un insumo primario para la geografía: una base espacial vigente o una normativa en donde se pueda asociar el conocimiento integral del territorio, para después asociarlo con los hechos o fenómenos naturales.

Es entonces que la selección de este tema de investigación, así como el área de estudio responde a la necesidad de contar con un insumo primario, donde su

importancia radica en ser la base y complemento para investigaciones de diversos indoles, ya que los resultados de esta investigación pueden ser aplicados y servir como recomendaciones en diferentes estudios.

Ubicación

Dentro del Estado de Quintana Roo se ubica el municipio de Bacalar, situado entre los paralelos $18^{\circ} 38'$ y $18^{\circ} 44'$, y los meridianos $88^{\circ} 32'$ y $88^{\circ} 26'$. El territorio municipal presenta las siguientes colindancias; norte municipios José María Morelos y Felipe Carrillo Puerto; en el sur se delimitado por el municipio de Othón P. Blanco; en el Este con el mar caribe y en su porción Oeste con el Estado de Campeche (Figura 2).

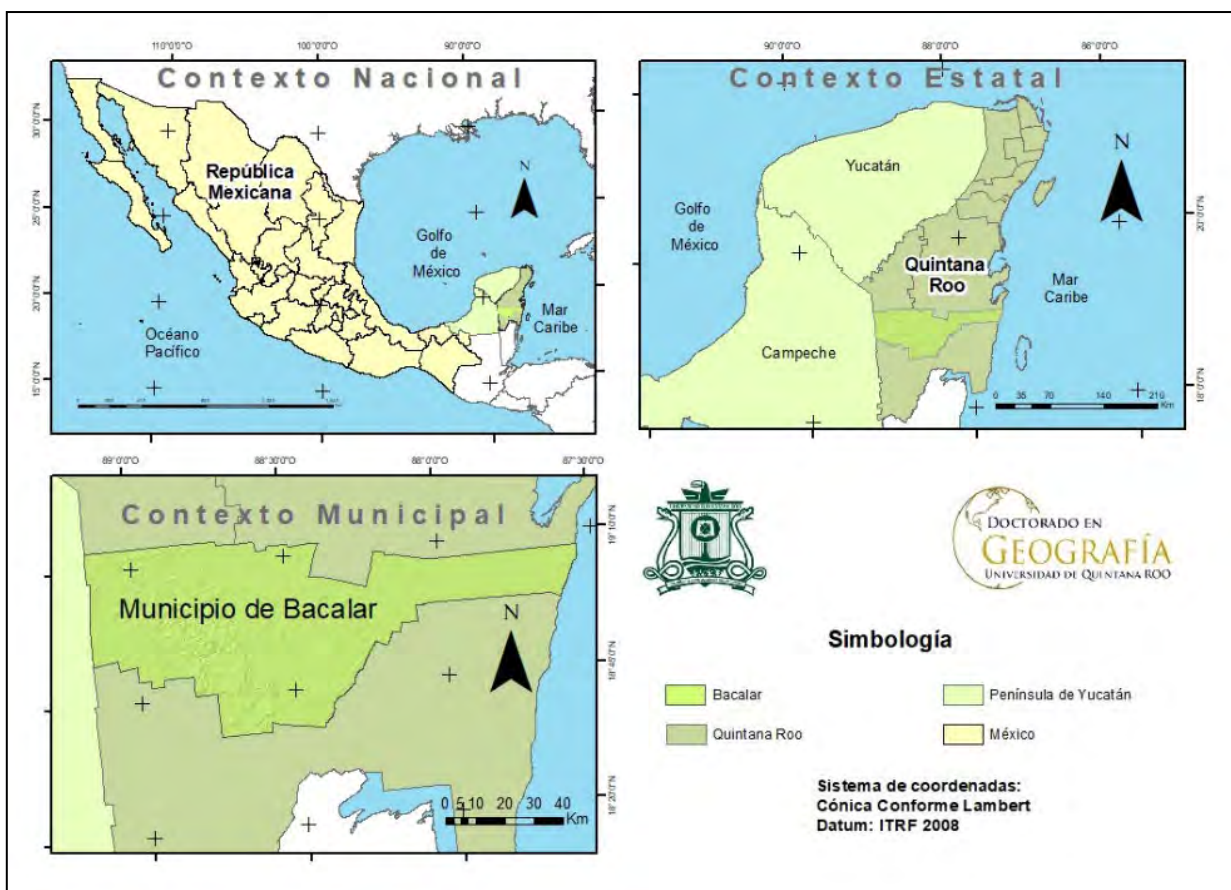


Figura 2: Ubicación geográfica del municipio de Bacalar en el contexto estatal y nacional.
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019a). Marco Geoestadístico – Datos vectoriales. México.

Aspectos sociodemográficos

Se abordan brevemente los aspectos sociodemográficos, ya que son fundamentales para que una investigación esté completa y bien sustentada. Estos aspectos ofrecen un contexto más amplio y una comprensión más profunda del problema, enriqueciendo el análisis de datos, dando mayor relevancia al estudio y estableciendo conexiones con los hechos y fenómenos geográficos que se examinan en la investigación.

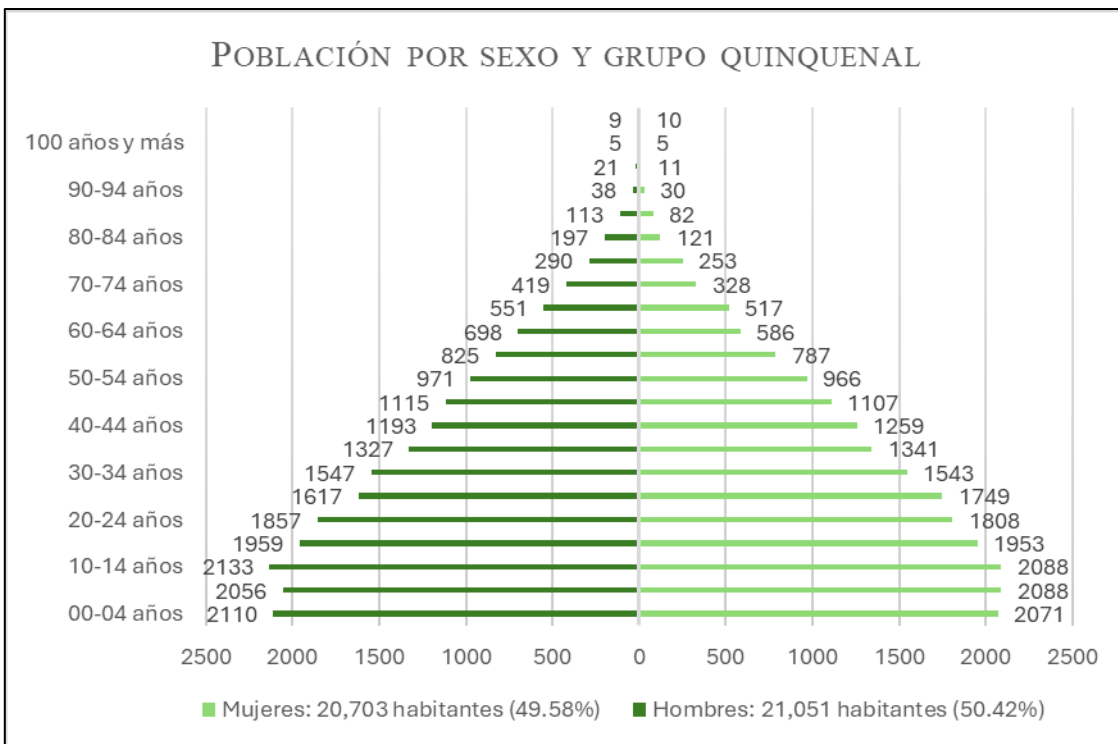


Figura 3: Habitantes en el municipio de Bacalar.
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020).

Uno de los aspectos más importantes es la población (Figura 3) (INEGI, 2020) ya que es una variable implícita en el desarrollo de la investigación, se presenta como una herramienta útil para entender la tendencia de la población sobre todo la antropización del paisaje, de esta información se puede interpretar lo siguiente:

- Base amplia: Las barras que representan a los grupos de edad más jóvenes (0-4 años, 5-9 años, 10-14 años) son más largas, lo que indica una mayor

cantidad de población en estas edades. Esto sugiere una población joven y en crecimiento.

- Reducción progresiva: A medida que aumenta la edad, las barras se hacen más cortas, lo que indica una disminución en la población en los grupos de mayor edad. Esto es típico en la mayoría de las poblaciones, ya que la mortalidad aumenta con la edad.
- En la mayoría de los grupos de edad, la diferencia entre hombres y mujeres es mínima, lo que refleja una distribución de género bastante equilibrada en esta población.
- Sin embargo, en los grupos de mayor edad (60 años y más), se observa que la barra de las mujeres es más larga que la de los hombres. Esto es común debido a la mayor esperanza de vida de las mujeres en comparación con los hombres.
- La gráfica también proporciona los totales de población por género: 20,703 mujeres (49.58% del total) y 21,051 hombres (50.42% del total), lo que indica una ligera mayoría masculina en la población.

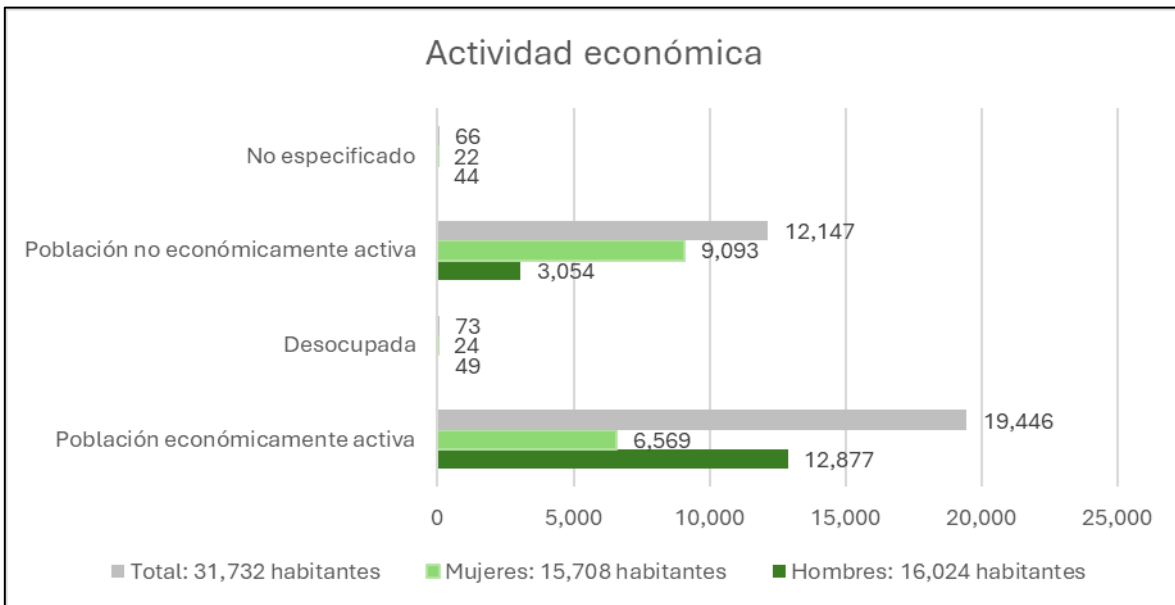


Figura 4: Características económicas.
Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020).

En la figura 4 (INEGI,2020) se muestra la distribución de una población total de 31,732 habitantes desglosada por su situación en la actividad económica, dividida en tres grandes categorías: población económicamente activa, población no económicamente activa y una pequeña proporción en la categoría de desocupados y no especificado. Además, estos datos están desglosados por género, lo que permite observar diferencias importantes entre hombres y mujeres en cada categoría.

La población económicamente activa (PEA) se refiere a las personas que están trabajando o buscando empleo activamente. La PEA total es de 19,446 personas, lo que representa una porción significativa de la población total.

- Hombres: 12,877 (65% de la PEA). Este grupo constituye la mayoría de la población económicamente activa, lo que sugiere que los hombres están más presentes en el mercado laboral.
- Mujeres: 6,569 (35% de la PEA). Aunque las mujeres también participan en la actividad económica, lo hacen en una proporción mucho menor que los hombres.

Esto podría reflejar factores como roles de género tradicionales, barreras al empleo para las mujeres, o una menor tasa de participación laboral femenina en esta comunidad específica.

La población no económicamente activa incluye a aquellas personas que no están trabajando ni buscando trabajo, por ejemplo, estudiantes, amas de casa, jubilados, etc. Con un total de 12,147 personas en esta categoría, lo que significa que una parte significativa de la población no participa activamente en la economía.

- Mujeres: 9,093 (75% de la población no activa). La mayoría de las mujeres no participan en la actividad económica, lo que podría sugerir que muchas están dedicadas a roles no remunerados o actividades fuera del mercado laboral formal.

- Hombres: 3,054 (25% de la población no activa). Los hombres en esta categoría son significativamente menos en comparación con las mujeres, lo que indica una mayor tendencia a participar en la economía activa

El alto porcentaje de mujeres en la población no económicamente activa podría reflejar la influencia de factores culturales, sociales o económicos que limitan la participación femenina en el mercado laboral

Capítulo I. Caracterización de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo

Resumen

El objetivo de este apartado fue conocer la caracterización la estructura físico-geográfica de los componentes del paisaje del municipio de Bacalar, Quintana Roo. La escala del mapa de paisajes fue de 1:250,000, se utilizó la metodología de generación semiautomatizada de unidades de paisaje de Priego et al (2010), que consiste en superposiciones cartográficas sucesivas asistidas con Sistemas de Información Geográficas (SIG). El mapa obtenido a escala 1:250,000 ilustra la caracterización y distribución espacial de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar. Se delimitaron 9 unidades superiores (localidades), 10 intermedias (parajes complejos) y 18 inferiores (parajes simples) al integrar los componentes del paisaje. Las geoformas identificadas incluyen lomeríos que van desde un ligero hasta un fuerte grado de disección, así como planicies sub-horizontales.

Palabras clave: Paisaje, geocomplejos, mapa tipológico.

1.1 Introducción

En la región sur del Estado de Quintana Roo, se encuentra el municipio de Bacalar, creado en 2011 (Decreto 421), tras la partición del territorio del norte del municipio de Othon P. Blanco. Cabe mencionar que parte del municipio se encuentra en un conflicto limítrofe entre los gobiernos de los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo; zona conocida como el punto PUT, por Punto de Unión Territorial, por esta razón se descartan los límites político- administrativos y se utilizó el marco geoestadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2019).

Es en este territorio, se han presentado hechos físico-naturales y sociales como inundaciones, crecimiento acelerado de construcciones en el litoral de la laguna, cambio de la imagen urbana, cambios de usos de suelo, expansión agrícola, asentamientos irregulares, falta de protección de áreas naturales; estos sucesos

propician un clima de preocupación e interés, pero en el propósito de desarrollar investigaciones en búsqueda de respuestas se evidencio la falta de instrumentos normativos o los estudios básicos de conocimiento del territorio de forma integral, es aquí donde la geografía puede dotar de conocimientos contundentes sobre los componentes biofísicos del territorio así como los grados de modificación causados por la actividad antrópica.

Esta investigación se llevó a cabo bajo la metodología del enfoque geoecológico cuya unidad de análisis es el paisaje “mediante la cual se puede calcular, comparar y evaluar el potencial de recursos naturales de un territorio asociado espacialmente y subordinado a las regularidades de su formación y diferenciación” (Bollo y Hernández, 2008 pág. 8).

La evolución de la Geoecología del Paisaje tiene sus antecedentes desde la Geografía Física Compleja. Para comienzos del siglo XX, las investigaciones de esta disciplina rompen con la naturaleza integradora de la geografía y se retira de la dimensión social y humana. En los años 30 retoma importancia el sentido integrador y vuelve a surgir como geografía ambiental en los países de Europa Oriental, Alemania y la Unión Soviética (Mateo, 2002), mas tarde esta disciplina incluyó en sus líneas de investigación el estudio tanto del sistema biofísico o los ecosistemas como las transformaciones provocadas por las actividades humanas (Aguilar, 2009). De esta geografía se desprende una rama con una conceptualización principalmente biológica conocida como geografía del paisaje que, en 1938, el geógrafo y biólogo Carl Troll combina los enfoques funcionales de la biología y estructural de la geografía evolucionando a ecología del paisaje o Geoecología del paisaje (Matteucci, 2006). Cabe resaltar que las principales escuelas entusiastas de esta geografía fueron la alemana y rusa. (Mateo y da Silva, 2009).

En esta disciplina, el paisaje más que un concepto es considerado como un sistema de conceptos, en el cual el grado de modificación del paisaje es el factor decisivo para definir el nivel de naturalidad de los paisajes. En dicho sistema se incluyen el

paisaje natural (menos modificado), el paisaje antropo - natural y los paisajes culturales y sociales (Espinoza, 2013).

La base analítica espacial de la Geoecología son los paisajes físico-geográficos (Ramírez-Sánchez et al., 2016); diversos estudios han utilizado esta cartografía temática, como el trabajo de Flores (2016), quien utiliza esta herramienta en estado Mexicano de Puebla, para analizar el estatus ambiental de los paisajes agrícolas, empleando una escala 1:250 000. En la investigación de Espinoza (2013) define la tipología de los paisajes antropo-naturales en Tzintzuntzan y sus alrededores. Su aplicación se extiende a áreas urbanas, como lo muestra el diagnóstico geoecológico de una Zona Metropolitana (Martínez, 2017).

Esta cartografía también es empleada para investigaciones con tópicos como potenciales naturales, servicios ambientales, conservación de geodiversidad, turismo y ordenamientos territoriales (Ramírez-Sánchez et al., 2016; Flores y Priego-Santander, 2011; Machuca, 2011; Bollo et al., 2010; Hernández et al., 2012; Morales et al., 2017).

Las investigaciones hasta ahora consultadas han demostrado ser un instrumento de conocimiento, planeación y ordenamiento del territorio; por lo cual, haciendo las debidas adecuaciones, se retoma esta metodología holística para al territorio de Quintana Roo, específicamente al municipio de Bacalar. El objetivo que persigue esta investigación es Caracterizar la estructura de los componentes del paisaje del municipio de Bacalar.

1.2 Descripción del área de estudio

1.2.1 Componentes naturales

A continuación, los componentes biofísicos se analizan de forma individual con el fin de entrar en detalle de los factores espacial y estructural, posteriormente se describen los resultados de su integración.

- Geología y geomorfología

El Mientras que el estado de Quintana Roo tiene una proporción de roca caliza que alcanza el 82.22%, en tanto el municipio de Bacalar tiene el 78.8% de esta roca y suelo (21.62%). La filtración del agua es favorecida por la predominancia de la roca caliza, formando sistemas acuíferos subterráneos (INEGI,199). La actividad tectónica ha generado numerosas fracturas geológicas en Bacalar, con orientación suroeste-noroeste, manifestándose como escalones en la superficie, cuerpos de agua y valles kársticos, esto en la zona sur de Quintana Roo (García,2016).

- Edafología

En Quintana Roo la presencia de diversos tipos de suelo es el resultado de la interacción de cinco factores formadores: roca madres, relieve, clima, vegetación y tiempo, adyacente a los procesos de erosión e intemperismo. En la exploración de campo se pueden encontrar una combinación de estos suelos en áreas pequeñas (Fragoso, 2015). La distribución de suelos en el municipio es la siguiente: Vertisol (24.54%), Solonchak (0.06%), Regosol (0.97%), Phaeozem (4.25%), Luvisol (7.18), Leptosol (33.96%), Gleysol (17.72%) y Arenosol (0.63%) (INEGI,2002).

- Hidrología

El agua de la región, al llegar a zonas de ruptura de pendiente, desaparece de la superficie y continúa bajo tierra, ya que muchas corrientes de agua solo fluyen en la parte de la superficie cuando las pendientes del suelo superan el 1.5%. Existen también escurrimientos de corta longitud que se infiltran en el suelo al entrar en contacto con estas rupturas; en las superficies con pendientes suaves los escurrimientos no tienen cauces definidos, por lo que se representan como estrechas áreas de escurrimiento donde el agua superficial se infiltra, permaneciendo con inundaciones en la estación lluviosa (POET de la Región de Bacalar, 2005).

Bacalar está situada dentro de la Región Hidrológica Administrativa número XII de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que incluye los estados de Quintana Roo, Campeche y Yucatán. La cuenca hidrológica a la que pertenece es la número 33, Yucatán Este. La Laguna de Bacalar tiene un flujo laminar constante de agua con dirección noroeste-sureste. Además, el manto freático promedio se encuentra a unos 5 metros de profundidad, lo que resalta la importancia del agua subterránea para mantener los procesos ecológicos. Dada su vulnerabilidad, requiere un cuidado especial.

Bacalar está situada dentro de la Región Hidrológica Administrativa número XII de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), incluidos los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, la zona de estudio se encuentra en la cuenca hidrológica número 33, Yucatán Este. El flujo laminar de la Laguna de Bacalar es constante con dirección noroeste-sureste.

- Clima

La CONAGUA tiene la estación meteorológica “Chetumal Observatorio” 23-032, ubicada a una latitud de 18°30’02” norte, longitud de 88°19’39” oeste y a 9 metros sobre el nivel del mar, la temperatura media anual en la región, durante el periodo de 1953 a 2015, fue de 26.7°C. El año más frío en promedio tuvo 24.4°C y el año más caluroso alcanzó los 28. 2°C. Los meses más cálidos fueron julio y agosto; los más frescos fueron enero y febrero de 2015.

La carta de climas a escala 1:1000 000 Serie I, según la clasificación de W. Köppen utilizada por el INEGI, el clima predominante en el municipio de Bacalar es cálido subhúmedo Aw1(x’), con una temperatura media anual superior a 22°C y temperaturas en el mes más frío que no descienden por debajo de los 18°C, característica que se mantiene en todo el territorio municipal.

1.3 Materiales y métodos

La propuesta de generación semiautomatizada de unidades de paisaje planteada por Priego et al. (2010), fue utilizada como la parte de los fundamentos metodológicos, así como teóricos de esta investigación. Los insumos cartográficos utilizados fueron uso de suelo y vegetación, carta topográfica, geología, edafología y clima, a escala 1:250 000, que es crucial en los estudios de paisaje, ya que define el nivel de detalle a tratar (Riesco et al., 2008).

1.3.1 Revisión biblio-cartográfica

Se inició el proceso con la recopilación de los datos biblio-cartográficos de morfología, relieve, clima y geología. El mapa de paisaje físico-geográficos fue construido a partir de los siguientes insumos de cartografía:

1. Continuo Nacional de Geología de la República Mexicana de los años 1995 y 2005, Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2005).
2. Continuo Nacional del Conjunto de datos Geográficos de las cartas de Climas, unidades climáticas, precipitación media anual y temperatura media anual 1: 1 000 000. Serie I. México. (INEGI, 2008).
3. Mapa de disección vertical del relieve a escala 1:250 000, elaborado por los autores, según los criterios de Priego-Santander et al. (2010).
4. Conjunto de datos vectoriales sobre la información edafológica de México a escala 1:250 000 (INEGI, 2013).
5. Conjunto de datos vectoriales de información sobre uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie IV (INEGI, 2016).
6. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica de Bacalar a escala 1:250 000, serie VI, año 2019 (INEGI, 2019).

1.3.2 Producción de la hipótesis cartográfica

Una vez recopilada toda la información, se generó el mapa del municipio de Bacalar de paisajes físico-geográficos, basado en las discontinuidades morfogenéticas del relieve. Este mapa se sustenta en la variación de la estructura vertical de los paisajes, tomando en cuenta el cambio regular en la morfometría, forma y génesis del relieve, así como la relación de uso de suelo y las comunidades vegetales. Los insumos necesarios para la construcción de la hipótesis cartográfica se esquematizan en la figura 5.

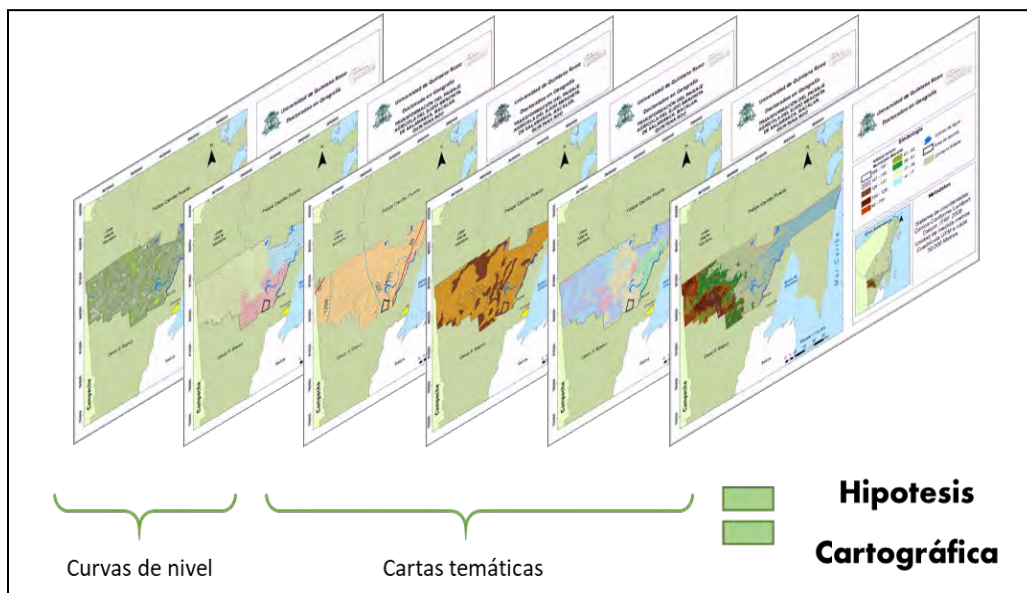


Figura 5: Esquema de representación de los insumos requeridos para la hipótesis cartográfica.
Fuente: México Elaboración propia con base en Priego 2010.

Se estandariza la información recabada, convirtiendo todas las capas cartográficas al mismo sistema de coordenadas a escala 1:250 000. Cabe mencionar que la escala seleccionada, se encuentra en el límite entre las escalas medias y pequeñas, adecuada para el nivel de detalle requerido para el desarrollo de la investigación; con una unidad mínima cartografiada de 1,000,000 m². A continuación, la secuencia de los pasos metodológicos para una mejor comprensión (Tabla 4):

Tabla 4: Resumen metodológico para la elaboración de las unidades del paisaje del municipio de Bacalar.

Paso	Localidad	Paraje
I	Superposición cartográfica de disección vertical y litología	Distinción de unidades morfológicas (las partes más simples que componen a los tipos de relieve) al interior de la localidad
II	Generalización conceptual por comunidad territorial	Clasificación y generalización según morfometría
III	Generalización cartografía por índice de vecindad	Superposición de II con el mapa de vegetación y uso de suelo y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4 mm)
IV	Clasificación altitudinal	Superposición de III con el mapa de suelo y generalización cartográfica según axioma área mínima cartografiable (4x4 mm)
V	Clasificación genética	Superposición de IV con el mapa de suelo y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4 mm)
VI	Superposición de V con el mapa de tipos climáticos y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	
VII	Superposición de VI con el mapa de tipos de vegetación y uso de suelo. Generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	
VIII	Superposición de VII con el mapa de tipos de suelos. Generalización cartográficos según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	

Fuente: Tomado de Ramírez-Sánchez, 2013

1.3.3 Trabajo de campo.

La conceptualización de información biofísica, en conjunto con la conceptualización de información de las superposiciones y generalizaciones cartográficas, permitieron conformar la “hipótesis cartográfica de las unidades de paisaje físico-geográfica”. De acuerdo con las prácticas habituales en investigaciones geográficas, se realizó visitas de campo para corrección o validación de las posibles inconsistencias cartográficas en los mapas realizados. Se revisaron los límites de los polígonos basados en características de las unidades, como geoformas, atributos edáficos, pendientes y coberturas y usos del suelo. Los criterios para seleccionar las áreas de verificación fueron accesibilidad, puntos de muestreos al azar y las posibles irregularidades en las unidades inferiores. Acorde a la escala utilizada se realizaron 11 sitios de verificación mediante observación directa, los cuales fueron georreferenciados para su posterior análisis en gabinete (Figura 6).



Figura 6: Fotografías de trabajo de campo.
Fuente: Archivo propio.

1.3.4 Síntesis final de gabinete.

Como última etapa, se llevó a cabo integración y evaluación de los resultados obtenidos en el trabajo de campo y los datos previos de gabinete, lo que permitió la síntesis de la información. Para posteriormente se elaboró la leyenda definitiva del mapa y se efectuaron las adecuaciones pertinentes al mapa de paisajes, culminando en la edición definitiva de la tipología paisajística del a escala 1:250 000 del municipio de Bacalar.

Se utilizaron los métodos de fondo cualitativo y símbolos numéricos para las localidades, representadas mediante colores y números romanos, los cuales aparecen únicamente en la leyenda del mapa. Se usaron números naturales como símbolos para los parajes simples; para los parajes complejos, no se representan de manera directa, sino a través de sus unidades inferiores y en la leyenda figuran con un número romano seguido de un punto y un número natural. El análisis de datos se llevó a cabo empleado ArcGis 10.4 (ESRI, 2012).

1.4 Resultados y discusión.

Con la integración de los componentes de los paisajes, a escala 1:250 000, se lograron delimitar 18 unidades inferiores (parajes simples), 10 intermedias (parajes complejos) y 9 unidades superiores, es decir el mapa de Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar (localidades) (Tabla 5) (Figura 7).

Tabla 5: Niveles taxonómicos del paisaje del municipio de Bacalar.

Nivel Taxonómico	Índices Diagnóstico	Ejemplo
Clase	Misma condición climática, con un conjunto de morfoestructuras con un relieve específico	Lomeríos y planicies en clima cálido subhúmedo.
Localidad	Homogeneidad litológica del tipo de depósitos, igual tipo morfogenético del relieve de la comunidad territorial	Lomeríos tectónico-carsificados, ligera a fuertemente diseccionados ($40 < DV < 100$ m/km ²), formados por caliza-dolomitas, caliza-coquina y caliza-yeso, en clima cálido
Paraje Complejo	Predominio agrupamientos similares de suelos y un conjunto equivalente de formaciones vegetales y tipos de suelo, en asociaciones que pertenecen al mismo conjunto morfológico del mesoformas del relieve.	Complejo de superficies y cauces, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.
Paraje Simple	Predominan agrupamientos similares de suelos y un conjunto equivalente de formaciones vegetales y tipo de suelo en asociaciones que presentan un determinado grado de pendiente del mismo conjunto morfológico de mesoformas del relieve.	Superficies planas ($< 1^\circ$) con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol cálcico y sódico.

Fuente: Modificado de Morales, 2019

Nota: En el caso de México, las acepciones de paraje simple y complejo son equivalentes a los conceptos de comarca simple y compleja.

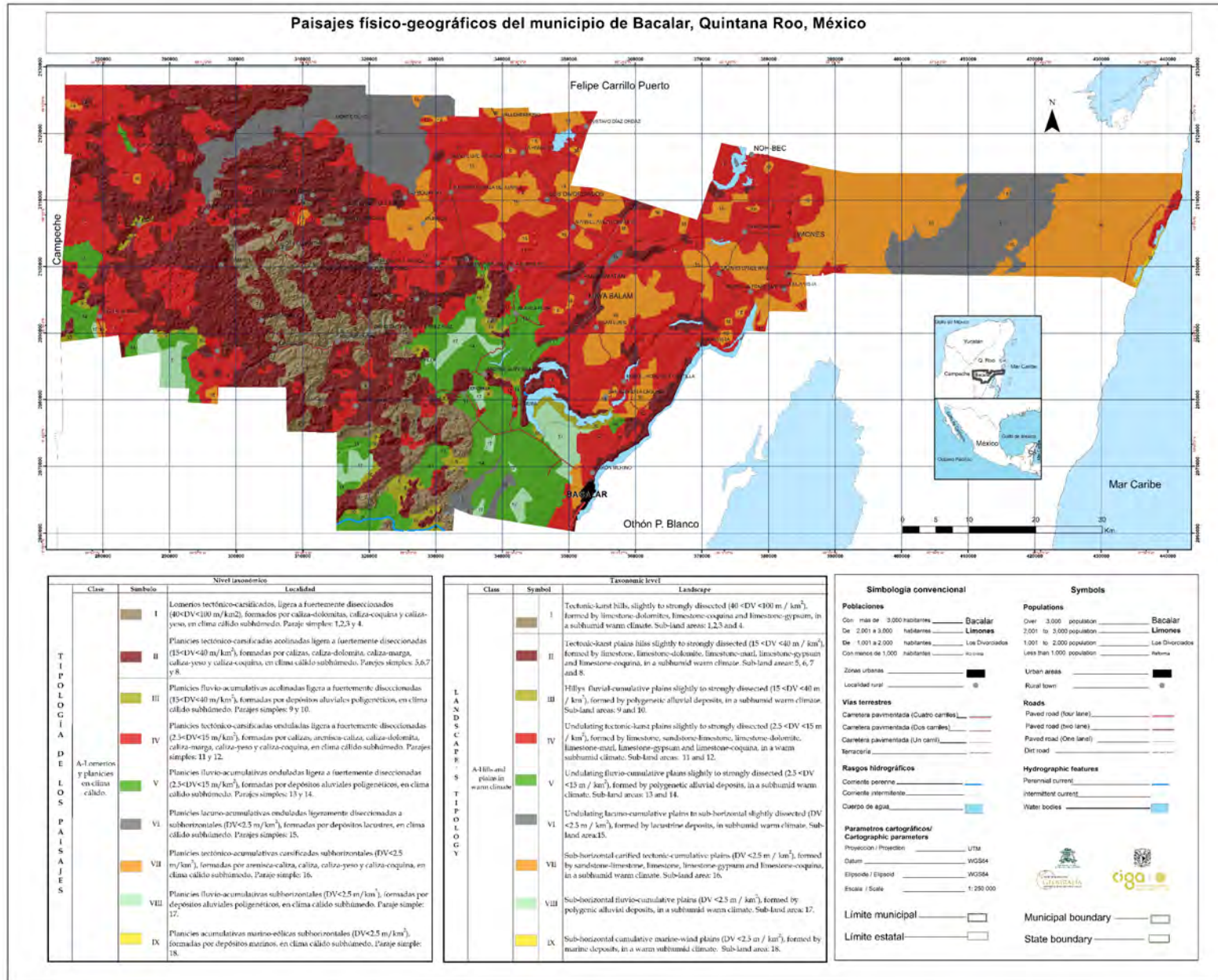


Figura 7: Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar.
Fuente: Herrera et al, 2022.

Algunas peculiaridades de los paisajes del municipio de Bacalar:

- Resultado de la evolución geólogo-geomorfológica en el territorio predominan las Planicies (99.89 %) y en menor medida aparecen los lomeríos (0.11 %).
- Los tipos de suelos presentes son: Leptosoles (40.50%), Vertisoles (24.83%), Gleysoles (17.93 %), Luvisoles (7.25 %), Phaeozem (4.33 %), Regosoles (3.91 %), mientras que los Arenosoles y Solonchak cuentan con 0.60 % y 0.48 % de la superficie municipal respectivamente.
- Condicionado por la litología y el clima, los suelos presentan un amplio predominio del tipo genético húmico-calcimórfico. Ello se expresa, además, en los altos contenidos de carbonato de calcio en casi todos los perfiles.
- La vegetación seminatural predomina con 71.41 %, seguida por la vegetación natural con 15.85 %, en menor medida se encuentran el pastizal con 7.91 %, la agricultura y manglares con 2.24 %.
- La escasa diferencia altitudinal del municipio de Bacalar es condicionante para no tener distinción de pisos climáticos, por lo cual solo predomina un tipo de clima.
- Debido a la litología predominante y las condiciones climáticas, se puede afirmar que todo el municipio pertenece a un acuífero anisotrópico.
- Producto de la evolución paleogeográfica, distribución de la génesis del paisaje en el municipio de Bacalar es de la siguiente manera: planicies acumulativas marino-eólicas (0.066 %), lomerío tectónico-carsificados (6.70%), planicies lacuno-acumulativas (9.13%), planicie fluvio-acumulativa (12.16%), planicie tectónico-acumulativas carsificadas (17.30%) y por último la génesis con mayor presencia son las planicies tectónico-carsificadas con un 54.64%.

- Las geoestructuras presentes como lomerío y planicies, según Mateo (2008) se asocian a los parajes simples como geosistemas emisores, colectores, de tránsito y en algunos casos mixtos. Se puede deducir que esta asociación es producto de la situación dinámica y de la posición de las diferentes unidades.
- De acuerdo con la clasificación propuesta por Mateo (2008), en el componente relieve se aprecia una homogeneidad relativa en el municipio de Bacalar, ya que existe un predominio de las planicies, tomando en cuenta su altura relativa y pendiente funcionan como diseminadores de la energía, la sustancia e información de los geosistemas.

El mapa se complementa con la leyenda que describe la estructura y composición de los geocomplejos (Tabla 6).

Clase: A- Lomeríos y planicies en clima cálido.

Localidad I- Lomeríos tectónico-carsificados, ligera a fuertemente diseccionados ($40 < DV < 100$ m/km²), formados por caliza-dolomitas, caliza-coquina y caliza-yeso, en clima cálido subhúmedo.

I.1- Complejo de cumbres, laderas y barrancos, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem y Vertisol.

1- Ligera a medianamente inclinados (5° - 10°), con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico.

2- Ligeramente inclinados (3° - 5°), con selva mediana subperennifolia primaria, secundaria arbustiva y arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Phaeozem endoléptico y Vertisol húmico.

I.2- Complejo de superficies y cauces, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.

3- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°), con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Phaeozem endoléptico y Vertisol gléyico.

4- Superficies planas ($<1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea y selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea sobre Leptosol réndzico, Gleysol vértico, Luvisol endoléptico y Gleysol vértico.

Localidad II. Planicies tectónico-carsificadas acolinadas ligera a fuertemente diseccionadas ($15 < DV < 40$ m/km²), formadas por calizas, caliza-dolomita, caliza-marga, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

II.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva, pastos y agricultura sobre Leptosol, Phaeozem y Vertisol.

5- Superficies ligera a medianamente inclinadas (5° - 10°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea sobre Phaeozem húmico.

6- Superficies ligeramente inclinadas (3° - 5°) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Phaeozem epiléptico y Vertisol húmico y pélico.

7-Superficies muy ligeramente inclinadas (1° - 3°), con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbórea, arbustiva y herbácea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, pastos cultivados y cultivos sobre Leptosol réndzico, Luvisol endoléptico y Phaeozem húmico.

8- Superficies planas ($<1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, pastos cultivados y cultivos sobre Luvisol endoléptico, Leptosol réndzico y Vertisol húmico.

Localidad III. Planicies fluvio-acumulativas acolinadas ligera a fuertemente diseccionadas ($15 < DV < 40$ m/km²), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

III.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, pastos y agricultura sobre Leptosol, Vertisol y Gleysol.

9- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Vertisol gléyico y Gleysol vértico.

10- Plano ($<1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva y pastos cultivados sobre Vertisol pélico y húmico, Leptosol réndzico y Gleysol vértico.

Localidad IV. Planicies tectónico-carsificadas onduladas ligera a fuertemente disecionadas ($2.5 < DV < 15$ m/km²), formadas por calizas, arenisca-caliza, caliza-dolomita, caliza-marga, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

IV.1- Complejo de colinas residuales, superficies y cauces, con selva, pasto y agricultura sobre Leptosol, Gleysol, Phaeozem, Vertisol y Luvisol.

11- Superficies muy ligeramente inclinadas (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva, pastizal cultivado y cultivos sobre Leptosol réndzico, Gleysol vértico y Phaeozem endoléptico.

12- Superficies planas ($<1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja caducifolia secundaria arbórea, manglar, tular, cultivos y pastizal cultivado sobre Vertisol húmico, Leptosol réndzico y Luvisol endoléptico.

Localidad V. Planicies fluvio-acumulativas onduladas ligera a fuertemente disecionadas ($2.5 < DV < 15$ m/km²), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

V.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, agricultura y pastos sobre Vertisol, Leptosol, Gleysol y Phaeozem.

13- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y pastos cultivados sobre Vertisol húmico y gléyico y Leptosol réndzico.

14- Superficies planas ($<1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea, cultivos y pastos cultivados sobre Vertisol pélico y gléyico, Gleysol vértico y Phaeozem húmico.

Localidad VI. Planicies lacuno-acumulativas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por depósitos lacustres, en clima cálido subhúmedo.

VI.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva y agricultura Gleysol sobre Vertisol y Leptosol.

15- Superficies planas ($<1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, sabana y cultivos sobre Gleysol vértico, Vertisol gléyico y Leptosol réndzico.

Localidad VII. Planicies tectónico-acumulativas carsificadas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por arenisca-caliza, caliza, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

VII.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva, manglar, tular, agricultura y pastizal sobre Leptosol, Regosol, Gleysol y Arenosol.

16- Superficies planas ($<1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja subperennifolia primaria y secundaria arbórea, selva baja caducifolia secundaria arbórea, manglar, tular, vegetación de peten, cultivos y pastizal cultivado sobre Leptosol réndzico, Regosol sódico, Gleysol húmico y Arenosol sódico.

Localidad VIII. Planicies fluvio-acumulativas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

VIII.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, agricultura y pastizal sobre Gleysol, Vertisol y Leptosol.

17- Superficies planas (<math><1^\circ</math>) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva, cultivos y pastizal cultivado sobre Gleysol vértico, Vertisol endoglético y Leptosol réndzico.

Localidad IX. Planicies acumulativas marino-eólicas subhorizontales (DV<math><2.5\text{ m/km}^2</math>), formadas por depósitos marinos, en clima cálido subhúmedo.

IX.1- Complejo de crestas, superficies y cauces, con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol.

18- Superficies planas (<math><1^\circ</math>) con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol cálcico y sódico.

Tabla 6: Geocomplejos de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar

Localidad	Paraje complejo	Parajes simples	Área (Km ²)
I	1.1	1,2	296.39
	1.2	3,4	103.88
II	2.1	5, 6, 7, 8	1471.75
III	3.1	9, 10	93.76
IV	4.1	11, 12	1793.62
V	5.1	13, 14	497.81
VI	6.1	15	545.76
VII	7.1	16	1033.79
VIII	8.1	17	134.95
IX	9.1	18	3.97

1.5 Conclusiones

Con la metodología empleada como marco conceptual y metodológico permitió integrar las múltiples variables bióticas y abióticas del paisaje, salvando con esto la barrera de falta de conocimiento geográfico integral del territorio.

Gracias a la metodología semiautomatizada y el apoyo de Sistemas de Información Geográfica, los llamados SIG, el estudio proporciona una caracterización detallada del paisaje físico geográfico de Bacalar, logrando delimitar distintas unidades de paisaje facilitando el análisis estructurado del territorio.

Este capítulo proporciona una descripción detallada de la geografía física del municipio de Bacalar, en el estado de Quintana Roo. Mediante un análisis cuidadoso y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), las distintas unidades de paisaje se dividieron a una escala precisa (1:250.000). Esto no sólo proporcionará una mejor comprensión de la geografía de la región, sino que también proporcionará una base sólida para futuras investigaciones al proporcionar un registro claro de las formaciones geológicas y los ecosistemas.

Además, se han identificado diversas características topográficas de la región Bacalar, como llanuras subhorizontales, colinas y zonas de transición tierra-agua. Estas formas geológicas juegan un papel central en la dinámica del paisaje porque determinan los patrones de uso de la tierra y los riesgos asociados con la ocupación humana, como la erosión, las inundaciones y la conservación del agua.

1.6 Referencias del capítulo

Aguilar, M. y Contreras, C. (2009). *La geografía ambiental. Orígenes, ámbito de estudio y alcances*. En Chávez, M., González, O. y Ventura, M. (Eds.). *Geografía Humana y Ciencias Sociales. Una relación reexaminada* (261-296). Zamora, Michoacán, México: El Colegio de Michoacán.

Bollo M., y Hernández J. (2008). Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones geográficas*, (66), 7-24.

Bollo, M., Hernández J. y Méndez, A. (2010). Evaluación de potencialidades naturales en el ordenamiento ecológico territorial: Noroeste del estado de Chiapas, México. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (53).

Environmental System Research Institute (ESRI). (2012). Arc GIS Desktop ver. 10.4.1., USA.

Espinoza, M. A. (2013). *Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán*. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Flores Á. y Priego-Santander Á. (2011). Zonificación funcional ecoturística de la zona costera de Michoacán, México a escala 1: 250 000. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E).

Flores, Á. (2016). *Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas del estado de Puebla, México*. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fragoso, Patricia (2015). Análisis espacial de los suelos en Quintana Roo con un enfoque geomorfoedafológico. (Tesis de doctorado). Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo.

García Gil, G. (2016). Geología. Obtenido de Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán: www.sds.yucatan.gob.mx.

Hernández-Santana, J., Bollo-Manet M., y Méndez-Linares, A. (2012). Ordenamiento ecológico general del territorio mexicano: enfoque metodológico y principales experiencias. *boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63), 33-56.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1999). Continuo Nacional del conjunto de datos Geográficos de la carta Geológica 1: 1 000 000, serie I.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2002). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, serie I (Continuo Nacional). México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. (Unidades climáticas). INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes, información cartográfica y base de datos, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, serie II (Continuo Nacional). INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2016). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2019). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:250 000 Quintana Roo. Serie VI. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463776932>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2019). Marco Geoestadístico, septiembre. Datos vectoriales. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463776079>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo (2017) / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, 2017.

Machuca, W. (2011) Evaluación del potencial natural para la prestación de Servicios ambientales hídricos en Cerro Grande, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Universidad Nacional Autónoma de México.

Martínez A. (2017). Zonificación geoecológica, un criterio para la interpretación y el análisis espacial del paisaje urbano de la ciudad de Morelia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (73).

Mateo, J. 2002. Geografía de los paisajes (Primera parte Paisajes naturales) Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba. 1-145p.

Mateo, J., y Da Silva, V. (2008). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, 1(1).

Matteucci, S. D. (2006). Ecología de Paisajes. Filosofía, conceptos y métodos. Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural: el caso de la ecorregión pampeana, Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, 1-12.

Morales, H., Priego, Á. y Bollo, M. (2017). Los Paisajes Físico-Geográficos del estado de Chiapas, México a escala 1: 250 000. *Terra Digitalis*, 1(1).

Priego-Santander, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N., y Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38.

Priego-Santander, AG., G. Bocco, M. Mendoza y A. Garrido (2010): Propuesta para la generación de unidades de paisajes de manera semi-automatizada. Fundamentos y método. Serie Planeación Territorial. Editoriales: SEMARNAT-INE-CIGA. México, D.F.

Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar, Quintana Roo, 2005.

Ramírez-Sánchez, L. G, Priego Santander, A. G y M. Bollo Manent (2012): Paisajes Físico-Geográficos del estado de Michoacán. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Marco atípico, edición digital, escala 1:250 000. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Michoacán. Terra Digitalis DOI: <https://doi.org/10.22201/ciga.9786070238383e.2012>.

Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, A. G., Bollo, M. y Castelo-Agüero, D. C. (2016). Potencial para la conservación de la geodiversidad de los paisajes del Estado de Michoacán, México. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 321-344. doi: 10.19053/01233769.5856.

Riesco, C.P., Gómez, Z. J. y Álvarez, S.D. (2008). Región, comarca, lugar: escalas de referencia en la metodología del paisaje. *Cuadernos Geográficos*, Universidad de Granada, España. 43 (2): 227-255.

Romero, R. y Rioja, L. (2012). Frontera en conflicto. El diferendo limítrofe entre los estados peninsulares de Quintana Roo y Campeche, México, en el punto de unión territorial (PUT).

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2005). Continuo Nacional de Geología Nacional de Geología de la República Mexicana de los años 1995 y 2005 con datos geológicos generados corresponden a la serie en formato digital de los años 1995 y 2005 realizados por el SGM y 26 de ellos en convenio INEGI-SGM. Disponibles en: https://datos.gob.mx/busca/dataset/cartografia-geologica-de-la-republica-mexicana-escala-1-250000/resource/92f365e0-e466-4723-9b82-268f92ebb45d?inner_span=True.

Capítulo II. Paisajes antroponaturales del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

Resumen

El paisaje ha sufrido un proceso de degradación a través del tiempo, producto de la realidad física y la actividad humana, esta transformación antrópica se encuentra presente en los paisajes del municipio de Bacalar. Ante esta situación se planteó el análisis del grado de modificación antropogénica de la capa vegetal de los paisajes físico-geográficos de Bacalar, para esto se empleó el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV) de Shishenko (1988) adaptado al territorio Bacalareño. Se encontró que las actividades productivas como agricultura y pastizales han modificado una gran extensión de la superficie del municipio, estas conclusiones permiten ser el punto de partida de evaluaciones posteriores que permitan implementar estrategias tanto de conservación como de aprovechamiento.

Palabras clave: Bacalar, IACV, Antropización, paisaje antroponatural

2.1 Introducción

Las actividades humanas han sido y son las principales fuerzas modificadoras del paisaje, teniendo un impacto considerable, lo que ha propiciado la pérdida de biodiversidad, el cambio climático, la degradación de suelos, entre otros acontecimientos negativos, todo esto provocado por el aumento en la construcción de caminos, asentamientos humanos, agricultura, ganadería, aprovechamiento de recursos minerales y forestales, infraestructura entre otras tantas actividades de aprovechamiento de los recursos naturales (Foley, 2005). El producto de estas actividades humanas sobre el medio físico, condicionadas por sus necesidades y cultura, han dado como resultado un proceso de transformación del paisaje a través del tiempo (Busquets y Cortina, 2009). Para Ramírez-Sánchez (2013), cualquiera de estas acciones humanas sobre los elementos naturales se le considera antropización.

El conocimiento del estado, uso, ubicación y localización del suelo y la vegetación, representan elementos integrales de los sistemas globales se ven afectados por las modificaciones en la cobertura y uso de suelo, así como por los cambios en los recursos básicos (INEGI, 2016); por lo cual la vegetación es señalada como uno de los indicadores más significativos en la transformación del paisaje, esto permite evidenciar el grado de degradación presente en cualquier superficie terrestre (Priego *et al.*, 2004). Para Murray, Blázquez y Rullan (2005), la vegetación está comprendida dentro de la cobertura terrestre; por lo cual se observan los cambios en las coberturas y uso de suelo de Quintana Roo se dan al sur del Estado, siendo Bacalar uno de los municipios en donde se aprecia que la agricultura y el pastizal son las coberturas que presentan mayor ganancia de superficies (Batún, 2018). Aunado a esto tenemos que la variedad de vegetación presente en el territorio se relaciona directamente con sus características geográficas como la geología, el relieve, los suelos y la hidrología debido a que demuestran una dinámica e interacción que dan lugar a una geodiversidad alta, sobre todo en la zona geológica Oeste del territorio, el sistema Lagunar de Bacalar y la zona costera con sus ambientes de transición mar-tierra (Fragoso-Servón *et al.*, 2014).

Ante estos hechos geográficos presentes en el territorio de Bacalar, surgió la necesidad de conocer el grado de antropización del ecosistema, entendiéndose como su estado de conservación o degradación (Maya, 2001). Por lo cual se desarrolló la presente investigación en donde se analizaron los paisajes antrop-naturales del municipio de Bacalar, estableciendo el grado de transformación de la cobertura vegetal.

2.2 Consideraciones teóricas

Este trabajo de investigación se desarrolla desde el enfoque de la geoecología del paisaje (Hasse, 1986), en donde se conjuga la perspectiva ecológica funcional y la perspectiva geográfica estructural, convergiendo en un análisis integrado (Mateo, 2002). Por los atributos estructuro-funcionales antes mencionados el paisaje representa una unidad de análisis mediante la cual se pueden obtener valores del

potencial de los recursos naturales y realizar una asociación espacial de su formación y diferenciación (Bollo y Hernández, 2008), por lo cual permite establecer medidas cuantitativas de las actividades humanas en el territorio y traducirlas en una disminución de elementos, funciones y atribuciones, reflejando así los diferentes niveles de degradación geocológica que se experimentan (Mateo y Ortiz, 2001).

Por lo tanto, las modificaciones en el paisaje que se han producido a finales del siglo XX han provocado el detrimento de muchos hábitats, lo que ha afectado negativamente a la biodiversidad a escala global (Vallecillo, 2009). A nivel mundial los usos de suelo constituyen un tópico primordial, esto debido al nivel de asociación y relación que guardan los procesos de cambio y la injerencia que tiene el hombre sobre ellos (Camacho, 2016); por lo tanto, se puede decir que las dinámicas entre las actividades productivas realizadas por la sociedad y la degradación ambiental de un territorio indican que esta degradación a menudo requiere inversiones que pueden ser económicamente costosas para su recuperación.

Se identificó la modificación antrópica en el análisis de las unidades del paisaje, definidas a partir de los usos del suelo, los elementos naturales del medio físico-biótico y las actividades productivas. Además, se realizó una evaluación utilizando una matriz de calificaciones de impactos ambientales, Rivera-Pabón y Senna (2017) por su parte Delgado (2018) propone una metodología que permite analizar la relación de biodiversidad-cambios en el uso de suelo, identificando y delimitando la heterogeneidad interna del paisaje basada en el acoplamiento de los sistemas humano-ecológicos.

También se han desarrollado Índices que abordan el fenómeno de la antropización de una manera integrada y cuantitativa, por ejemplo, el Índice de Hemerobia (IH) propuesto por (Steinhardt *et al*, 1999) se utiliza como herramienta para evaluar la influencia antropogénica en los ecosistemas, aplicado a investigaciones que comparan la comunidad vegetal objeto de estudio con su potencial natural. Esto se lleva a cabo mediante la valoración de indicadores específicos, lo que permite diferentes grados de hemerobia (Hill y Thompson, 2002; Csorba, y Szabó, 2009;

Walz y Stein, 2014; Marino *et al.*, 2017); otro índice empleado es el índice Integrado Relativo de Antropización (INRA) “que es una medida de la antropización que integra, tanto los aspectos urbanísticos, como las coberturas vegetales y otro tipo de coberturas y usos del suelo identificables en una unidad del paisaje” (Martínez-Dueñas, 2010, pág. 37), empleado por Plaza-Ortega *et al.*, (2017) para un ecosistema de alta montaña, donde la actividad antrópica no suele tener tanta presencia resultando con niveles de intervención antrópica bajos.

Otra herramienta que permite medir la acción del hombre sobre el paisaje es el Índice de Antropización de la Cubierta Vegetal del Suelo (IACV, Shishenko 1988), que representa el grado de transformación o reemplazo de la cobertura vegetal natural del suelo. Este índice permite reconocer geocomplejos, que se determinan como sistemas territoriales que integran elementos antropogénicos y naturales y las transformaciones que sufren los geocomplejos en sus características naturales originales (Mateo, 2002); en donde se desarrollen mayores actividades antrópicas, o por el contrario que por sus condiciones naturales requieran protegerse o restaurarse (Morales *et al.*, 2019), por lo cual se ha empleado en investigaciones con diversos fines; Espinoza (2013), emplea el grado de antropización para poder definir la tipología de los paisajes antro-po-naturales del territorio; en el trabajo de Ramírez-Sánchez (2013), obtiene el grado de modificación de la cobertura vegetal de los paisajes físico-geográficos para elaborar una base de datos espaciales, con fin de crear estrategias que optimicen la distribución de las acciones humanas; también se ha empleado para ayudar a evaluar el estado ambiental de los paisajes para posteriormente determinar el grado de sustentabilidad ambiental (Flores, 2016), de igual manera, se ha empleado en conjunto en metodologías mixtas que dan valores cualitativos a la antropización del paisaje y la percepción que tienen de él sus habitantes (Aguirre *et al.*, 2017). El IACV también ha sido empleado como parte del diagnóstico de las bases biofísicas para informes de proyectos en el territorio Tarahumara (Chávez y Prunés, 2018). Por su parte Cruz-Paz *et al.*, (2018), utilizan el IACV como uno de los elementos de evaluación de la antropización con un enfoque multicriterio para identificar las áreas prioritarias de conservación.

Para efectos de esta investigación se utilizó el IACV, debido a que permitió conocer el grado de perturbación de la vegetación y la distribución espacial de los geocomplejos en el territorio, dando como resultado el grado de antropización de la cobertura vegetal del paisaje; para el desarrollo del IACV se utilizaron insumos como la cartografía de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2016), y el mapa de paisajes físico-geográficos (inédito), de escala 1:250 000 elaborado con el Modelo Digital de Elevación (MDE) (INEGI, 2013), clima, (García, E., 1998), Edafología (SPP-INEGI, 1984 a) y Geología (SPP-INEGI, 1984 b) desarrollado para el área de estudio.

2.3 Materiales y métodos

Para conocer el grado de transformación de cada geocomplejo de la zona de estudio, se utilizó el Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal (IACV), en donde se pudo conocer la localización espacial y la modificación de la composición vegetal de las unidades de paisaje (Shishenko, 1988) (Tabla 7), por lo que se utilizó la serie VI de INEGI de donde se obtuvo la información de la cobertura del territorio del municipio de Bacalar. Se tomaron los valores de (r_i) para el municipio de las adaptaciones hechas por Priego (2004), esto debido a las diferencias en cuanto a la vegetación y uso del suelo entre Rusia (país donde originalmente se empleó el IACV) y nuestra área de estudio. La fórmula del IACV se detalla a continuación:

$$IACV = \frac{\sum_{i=1}^n r_i * A_{ij}}{AT_j}$$

Donde:

IACV: Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal.

r_i : Ponderación del grado de transformación antropogénica de los paisajes del tipo “i”: de cobertura vegetal.

A_{ij} : Área (km^2) dedicada al tipo de utilización “i” en el geocomplejo “j”.

AT_j : Área total (km^2) del paisaje “j”.

Tabla 7: Ponderación de los tipos de vegetación o uso del suelo para el cálculo del índice IACV.

Tipos de vegetación o uso de suelo		Ponderación del grado de transformación antropogénica (r_i)	
Cuerpo de agua		0.03	
Uso de suelo	Agricultura	0.75	
	Asentamientos humanos	0.98	
	Pastizal	0.04	
Cobertura vegetal	Selvas	Baja espinosa subperennifolia	0.01
		Baja subcaducifolia	0.01
		Baja subperennifolia	0.01
		Mediana subperennifolia	0.01
	Manglar		0.01
	Sabana		0.01
	Tular		0.01
	Vegetación de dunas costeras		0.01
	Vegetación de Petén		0.01

Fuente: Shishenko (1988), adaptado para el municipio de Bacalar.

2.4 Resultados

En el municipio de Bacalar las principales actividades económicas desarrolladas son las relacionadas con el campo como agriculturas de riego, mecanizada y de temporal, milpas y potreros, lo cual ha propiciado que una extensa superficie del municipio tenga un grado muy alto de antropización, estableciéndose principalmente en los paisajes de planicie subhorizontales formada por calizas y depósitos lacustres, mientras que la categoría muy bajo se encuentra en las planicies onduladas fuertemente diseccionadas.

Los valores del IACV obtenido de las unidades de paisaje fueron clasificados en cinco clases por medio del método de rompimiento natural de Jenks (1971) puesto que sus formas de clasificación tienen una varianza mínima en cada categoría y se separan cuando se producen grandes cambios en el valor; esto para obtener la

definición del Grado de Antropización de la Cobertura Vegetal (GACV) presentado en la Tabla 8.

Tabla 8: Explicación de los grados de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes.

GACV	Rango del IACV	Definición
Muy Bajo	$0.01 \leq \text{IACV} \leq 0.0057892$	Se mantiene más del 98.97% en estado natural o semi natural de la cobertura vegetal geosistema y menos del 1% es utilizado para actividades agro-pastorales y no se encuentran elementos urbanos y/o industriales.
Bajo	$0.057893 \leq \text{IACV} \leq 0.161737$	Se tiene un 93.82% de cobertura vegetal en estado natural o seminatural y un 6.08% pertenece a actividades agropecuarios y el resto de los asentamientos humanos y/o industria en el geosistema.
Medio	$0.161738 \leq \text{IACV} \leq 0.261967$	Se encuentra el 90.41% en estado natural o seminatural de la cobertura vegetal en el geosistema y con un poco más del 9.42% de actividades agropecuarias. Con apenas el 0.17% de elementos urbanos.
Alto	$0.261968 \leq \text{IACV} \leq 0.295418$	El geosistema mantiene su cobertura vegetal en un estado natural y/o seminatural del 85.85% del CTN. Más del 14% se aprovecha en actividades agropecuarias y se encuentran elementos urbanos y/o de industria de menos del 0.07%
Muy alto	$0.295419 \leq \text{IACV} \leq 0.311585$	Se encuentra el 82.97% en estado natural o seminatural de la cobertura vegetal en el geosistema y con un poco más 17.03% de actividades agropecuarias. No se encuentran elementos urbanos y/o industriales.
GACV: Grado de antropización de la cobertura vegetal; IACV: Índice de antropización de la cobertura vegetal. CTN: Complejo territorial natural		

Fuente: Elaboración propia con base en Ramírez-Sánchez, 2020

Para la representación espacial se elaboró un cartograma, con el GACV dando como resultado cinco categorías: Muy alto, Alto, Medio, Bajo, Muy bajo para el territorio municipal de Bacalar (Tabla 9).

Tabla 9: Grados de antropización de la cobertura vegetal.

GACV	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Muy baja	549.61	9.21
Baja	1033.64	17.31
Media	1869.69	31.32
Alta	2019.83	33.83
Muy Alta	497.81	8.34

En el territorio del municipio de Bacalar, predominan los geocomplejos con antropización en las clases Alta y Media, estas categorías combinadas ocupan el 65.14% de la superficie del municipio, mientras que la combinación de las clases restantes tiene el 34.86% del territorio. También se encontró que las clases de Muy Alta y baja poseen porcentajes similares con un 8.34 % y 9.21% respectivamente, la categoría Baja tiene un porcentaje de 17.31% y la clase Media 6.70% del área total municipal, Mapa del IACV en el municipio de Bacalar (Figura 8).

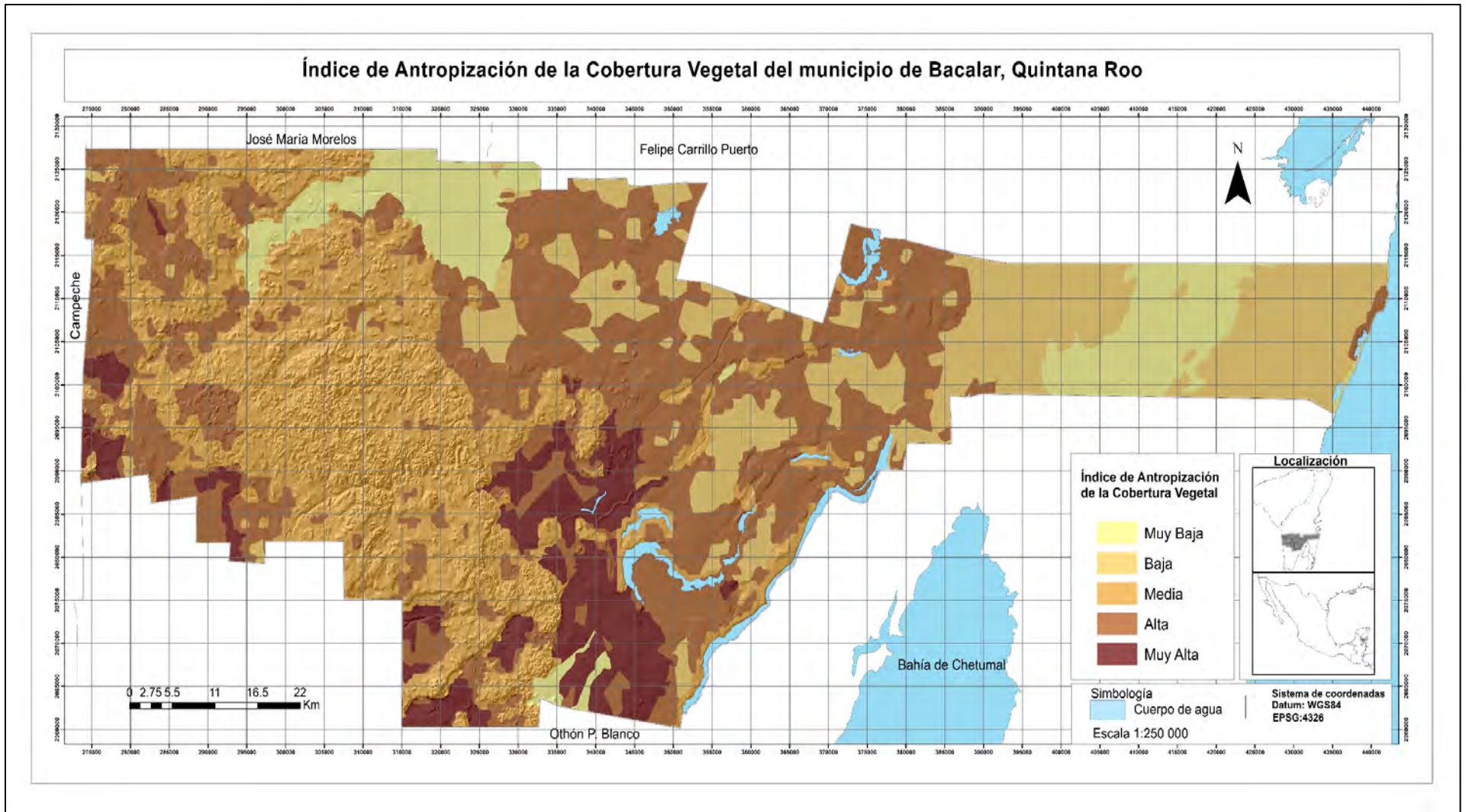


Figura 8: Índice de Antropización de la Cobertura Vegetal del municipio de Quintana Roo.
Fuente: Elaboración propia.

2.4.1 Categoría Muy Alta antropización.

Las áreas con resultados de antropización de esta clase se concentran en planicies fluvio-acumulativas onduladas, formadas por depósitos aluviales; formando un complejo de polígonos que van desde del sur al centro del municipio, con presencia de geocomplejos con estas características en el límite con el Estado de Campeche, la presencia antrópica aquí se traduce en actividades agro-pastoriles que ocupan el 17.03% de la superficie de esta categoría. En la superficie que ocupa esta clase se encuentra asentadas un área de gran expansión agrícola ubicada al sur del territorio y se trata del ejido menonita de “Salamanca”, grupo social que es conocido por su gran capacidad y rapidez de transformar el paisaje.

2.4.2 Categoría Alta antropización.

Esta categoría es, por pocos puntos porcentuales, la más abundante en el territorio, sus geocomplejos de distribuyen en el límite Oeste del Municipio, también existe una presencia importante de este nivel antrópico en la porción central-este del territorio y en parte de la zona costera del municipio con el mar caribe se encuentra en planicies fluvio-acumulativas acolinadas a subhorizontales y planicies tectónico-carsificadas, formada por depósitos aluviales y calizas, la presencia humana más importante sigue siendo las actividades agro-pastoriles aunque encontramos un numero importantes de asentamientos humanos como las comunidades de Los divorciados, Kuchumatan.

2.4.3 Categoría Media antropización.

La antropización media se encuentra principalmente de la porción central hacia el oeste del municipio, las geofomas presentes son lomeríos tectónico-carsificados y planicies tectónico-carsificadas, formadas por calizas, cuenta con 9.42% de asentamientos humanos, conserva un 90.41% de su de su vegetación y utilizando

un 9.42% para actividades agropastoril. La Localidad de Bacalar, cabecera municipal, recae en esta categoría.

2.4.4 Categoría Baja antropización.

El grado de antropización bajo se localiza principalmente en un corredor que inicia en la parte central del municipio y cruza de Sureste a Noroeste, presente en las geoformas como planicies tectónico-acumulativas carsificadas subhorizontales, formadas por calizas, aquí la actividad agro-pastoril ocupa apenas un 6.08% de los 1033.64 km² de superficie de esta categoría. Los asentamientos humanos tienen apenas el 0.09% de esta categoría.

2.4.5 Categoría Muy Baja antropización.

La última clase como su nombre lo indica tiene los valores más bajos de antropización, aquí los geocomplejos son los que se encuentran con menor modificación antropogénica; la vegetación conserva su estado natural o seminatural en un 98.97%, los polígonos en esta categoría están distribuidos en dos zonas principalmente en parches en la porción central y la segunda zona cercana a la costa; esta categoría tiene geoformas diversas que van desde planicies lacuno-acumulativas subhorizontales y planicies acumulativas marino-eólicas, formados por depósitos lacustres y marinos. La costa del municipio es uno de los paisajes menos transformados, esto debido a la poca infraestructura de caminos y carreteras existentes para llegar a la esta zona, también cabe resaltar que en los geocomplejos de esta clase no se encuentran asentamientos humanos.

Con el IACV se logró evidenciar que si bien existen clases Muy Altas y Altas de antropización la vegetación natural prevalece en gran medida, con un porcentaje de conservación arriba del 80%; las actividades económicas de aprovechamiento de los recursos, como las agro pastorales ocupan una superficie por debajo del 18% y

los asentamientos humanos ocupan menos del 1% de la superficie para cada caso. Aunque en general se denota un grado de modificación del paisaje bajo es importante poner atención a las tasas de cambio de coberturas y uso de suelo presentes en el área de estudio y la velocidad con las que están sucediendo, las causas principales son la expansión de la frontera agrícola y en menor medida el turismo.

2.5 Conclusiones

La escala utilizada en este estudio fue de 1:250 000; por lo cual los datos presentados deben de interpretarse tomando esto en consideración, es preciso mencionar que los resultados del IACV pueden variar dependiendo de la escala, para estudios más detallados de zonas de interés se recomienda emplear escalas 1:50 000 o mayores.

El desarrollo metodológico de la presente investigación dio como resultado el grado de antropización de la cobertura vegetal de los paisajes del territorio Municipal de Bacalar, asociándolos espacialmente a actividades agrícolas y usos de suelo de pastizales como principales elementos modificadores del paisaje.

La clase con mayor presencia fue la Muy Alta con un poco más de 45% de la superficie total del municipio, esto representa un área de oportunidad para llevar a cabo evaluaciones de la compatibilidad entre los usos actuales y la vocación natural de los geosistemas; aunque esta recomendación puede aplicar para todas los grados de antropización presentes en Bacalar.

También se puede concluir dos relaciones lógicas que guardan los paisajes, primero, a menor grado de antropización, menores los valores que se presente en cuanto actividades productivas y asentamientos humanos; y la segunda es la relación que guarda la composición geomorfológica con el grado de antropización, es decir las características de una geoforma condicionara en mayor o menor medidas las actividades que se puedan realizar, un ejemplo de esto son las planicies subhorizontales del municipio que por sus características facilita el desarrollo de actividades productivas por lo cual su grado de antropización es mayor.

2.6 Referencias del capítulo

Aguirre, A. López, L., Bolaños, F., González, D. y Buitrago, O. (2017). Percepción del paisaje, agua y ecosistemas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 109-126. doi: 10.19053/01233769.5402.

Batún, A. (2018). Cambios de cobertura y uso de suelo en Quintana Roo, México: acciones estratégicas para la conservación forestal. Tesis de maestría, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

Bollo M., y Hernández J. (2008). Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. *Investigaciones geográficas*, (66), 7-24.

Bollo M., Hernández, J. y Méndez A. (2010). Evaluación de potencialidades naturales en el ordenamiento ecológico territorial: Noroeste del estado de Chiapas, México. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.

Busquets, J., y Cortina, A. (2009). Gestión del paisaje. Manual de protección, gestión y ordenación del paisaje. Barcelona, Editorial Ariel.

Camacho, J., (2016). Cambios de coberturas y uso del suelo en el surponiente del Estado de México. Modelos dinámicos y prospectivos. Aportación teórico-metodológica en las ciencias ambientales. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México.

Chávez, M. y Prunés E. (2018). Bases biofísicas para el Ordenamiento Ecológico de los 12 municipios de influencia de Proyecto Tarahumara Sustentable (informe final). México.

Comisión Nacional del Agua. (2016). *Atlas del agua en México 2016*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/conagua>

Cruz-Paz, G., Castillo, M., Espinoza-Tenorio, A., Bravo-Peña, L., Valencia-Barrera, E., y Mesa-Jurado, M. (2018). Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta. La aplicación de un enfoque multicriterio. *Investigaciones geográficas*, (97), 00004. <https://doi.org/10.14350/rig.59482>.

Csorba, P., & Szabó, S. (2009). Degree of human transformation of landscapes: a case study from Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 58(2), 91-99.

Delgado, L. 2018. Heterogeneidad del paisaje y diversidad de especies arbóreas en un bosque tropical. Desarrollo y validación de una propuesta metodológica. *Ecosistemas* 27(1): 105-115. Doi.: 10.7818/ECOS.1475.

Encina A. y Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y desarrollo*, (25), 5-10.

Espinoza, A. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México.

Fernández, J. L. U. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.

Flores, D. (2016). Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas del estado de Puebla, México. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

Foley, A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., y Helkowski, J. H. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.

Fragoso-Servón, P., & Pereira, A., Frausto, O., y Bautista, F. (2014). Relación entre la geodiversidad de Quintana Roo y su biodiversidad. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 16(1),97-125. ISSN: 1405-8626.

García, E. (1998): Carta de climas de la República Mexicana a escala 1:1000 000 (Clasificación de Koppen, modificada por García). (versión digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.

Gómez, J. (1992). Geografía y ecología. *Lurralde: Investigación y espacio*, (15), 9-16.

Hasse, G. (1986): Theoretical and methodological foundations of landscape ecology. In: *Landscape Ecology. Abstract of Lecture. International Training Course.* Institute of Geography and Geoecology, GDR Academy of Science, Leipzig, pp: 4 – 7.

Hill, M., Roy, D., y Thompson, K. (2002). Hemeroby, urbanity and ruderality: bioindicators of disturbance and human impact. *Journal of Applied Ecology*, 39(5), 708-720.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, serie II (Continuo Nacional). INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2016). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>.

Jenks, G. y Caspall, F. (1971) Error on Choroplethic Maps: Definition, Measurement, Reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61, 217-244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1971.tb00779.x>.

Juanes-Fuertes, J. V. (2014). Los procesos históricos como factores modificadores de los paisajes antiguos: el caso de la Sonsierra Riojano-Alavesa. Cuadernos de arqueología. Universidad de Navarra.

Loening, L. J., & Markussen, M. (2003). Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala (No. 91). IAI Discussion Papers.

Marino, B., Alvarado, M., Cabral, I., y Guzmán, M. (2017). Índice de Hemerobia para la evaluación de la conservación del bosque de pino-encino en una microcuenca. Revista mexicana de ciencias forestales, 8(44), 55-88.

Martínez-Dueñas, W. (2010). INRA - Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. Intropica, 5(1), 37-46.

Mateo, J. (2002). Geografía de los paisajes (Primera parte Paisajes naturales). Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba. 1-145p.

Mateo, J. y Ortiz, M. (2001). La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica. Serie Varia, Nueva Época, No. 1. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. 40 p.

Maya, A. 2001. El retorno de Ícaro. Muerte y vida de la filosofía. Una propuesta ambiental. La razón de la vida VI. Corporación Universidad Autónoma de Occidente. Cali. 249p.

Morales, H., Priego-Santander, Á., Bollo, M., y Ríos, M. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. Papeles de Geografía, (65), 139-154.

Murray, I., Rullán, O., Y Blázquez, M. (2005). Los Cambios en la Cobertura de la Tierra. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 10(571), 1-5.

Plaza-Ortega, V., Valencia-Rojas, M. P., y Figueroa-Casas, A. (2017). Aplicación del índice integrado relativo de antropización (INRA), en un ecosistema de alta montaña. *Revista Luna Azul*, (44), 80-93.

Priego, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N., & Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38.

Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar, Quintana Roo, 2005.

Ramírez-Sánchez L. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México.

Ramírez-Sánchez L. (2020). Modificación Antropogénica de la Cubierta Vegetal de los Paisajes Naturales de Michoacán. En: Carlos Arredondo (coord.), *Paisaje y territorio en el Occidente Michoacano*, Unidad Académica de Estudios Regionales, Coordinación de Humanidades de la UNAM, (en prensa).

Rivera-Pabón, J. & Senna, D. (2017). Análisis de unidades de paisaje y evaluación de impacto ambiental como herramientas para la gestión ambiental municipal. Caso de aplicación: municipio de tona, España. *Luna Azul* ISSN 1909-2474 No. 45.

Shishenko, P.G. 1988. Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. *Geografía Física Aplicada*. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania.

SPP-INEGI. 1984a. Carta Edafológica de los Estados Unidos Mexicanos a escala 1:250 000 (versión digital). Dirección General de Geografía, 121 hojas. Escala original 1:250 000, formato original: vector.

SPP-INEGI. 1984b. Carta Geológica de los Estados Unidos Mexicanos a escala 1:250 000 (versión digital). Dirección General de Geografía, 121 hojas. Escala original 1:250 000, formato original: vector.

Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., & Lehmann, S. (1999). Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. *Environmental Indices, system analysis approach*, 237-254. <https://doi.org/10.1007/s002670010136>.

Tellería, J. L. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 10, 13-25.

Uh, J. S. (2013). Organización social de los menonitas de Salamanca, Quintana Roo (Tesis de licenciatura) Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo.

Vallecillo, R. (2009). Los cambios en el paisaje y su efecto sobre la distribución de las especies: modelización y aplicación a la conservación de las aves de habitats abiertos en paisajes mediterráneos. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.

Walz, U., y Stein, C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 279-289.

Capítulo III. Heterogeneidad geocológica del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

Resumen

El objetivo de este capítulo es evaluar la heterogeneidad geocológica de los paisajes físico-geográficos presente en el territorio que comprende el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México. Por medio del cálculo siete índices; uno de riqueza, dos de complejidad, tres de diversidad y uno de singularidad. Los resultados arrojan una alta variabilidad del espacio geográfico infiriendo una elevada connotación ecológica, revelando la fuerte relación con la biodiversidad y su distribución. Los indicadores de heterogeneidad mostraron una fuerte correlación con al menos otro de ellos, que siempre osciló entre $R=0.78$ y $R=0.99$.

Palabras clave: heterogeneidad del paisaje, complejidad corológica y tipológica

3.1 Introducción

La Geografía Física Compleja trata de entender y sistematizar el espacio geográfico como un concepto llamado paisaje (Mateo, 2002). El paisaje, desde el enfoque geocológico, es considerado un objeto de la realidad espacial, en donde los límites físicos, estructurales, funcionales y morfométricos están determinados por la geomorfología (Priego-Santander et al. 2004), a partir de identificar las unidades taxonómicas del paisaje se pueden analizar sus propiedades de diversidad geocológica, la cual considera la variedad de rasgos geológicos en un lugar identificando su frecuencia, distribución y su evolución (Carcavilla *et al.*, 2008).

En el ámbito internacional existen estudios de la heterogeneidad de los paisajes en donde se produce el conocimiento de las características del territorio (Ganzei e Ivanov, 2012; Štefunková *et al.*, 2015), además se ha empleado para investigaciones en donde se relacionan la diversidad paisajística con las necesidades de aumentar las áreas protegidas (Festisov, 2011; Lavrinenko, 2012); producción de cultivos (Zymarioieva *et al.*, 2021), la importancia del hábitat de la fauna (Dominik *et al.*, 2022); con esto queremos enmarcar la importancia de los investigaciones en donde

se calcula la heterogeneidad de un territorio y como coadyuva en la toma de decisiones.

Las investigaciones sobre heterogeneidad del paisaje desde el enfoque Geoecológico han permitido conocer los niveles de geodiversidad y sus particularidades en diferentes territorios de México (Priego, 2003; Ramírez, 2013; Flores, 2016; Priego y Steve, 2017; Troche, 2019, Morales, 2020).

El estado de Quintana Roo es un territorio poco explorado en este sentido, puesto que no se ha llevado a cabo el inventario geoecológico de ninguno de sus territorios municipales. En particular, el municipio de Bacalar posee características naturales y socio económicas que lo hacen prioritario para este propósito, por sus amplios potenciales turísticos, ecoturísticos y agropecuarios (Plan Estatal de Desarrollo de Quintana Roo, 2016-2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este capítulo es conocer, cartografiar y evaluar la heterogeneidad geoecológica del municipio de Bacalar, como antecedente para futuras tareas de ordenamiento ecológico y territorial; sobre todo para los ecosistemas de humedal.

El cálculo de la heterogeneidad se realizó a través de índices para el análisis de la estructura horizontal del paisaje (Snacken y Antrop, 1983) e índices adaptados de la ecología utilizados para conocer la diversidad biológica, sustituyendo el número de especies por paisajes y número de individuos por polígonos (Priego *et al.*, 2003). Para efectos de investigación se aplicaron 7 índices para el mapa de Paisaje de Bacalar (Herrera-Valencia *et al.*, 2022), estos resultados se clasificaron en intervalos con el método de rupturas naturales de Jenks (1967), generando cartogramas de 3 o 5 categorías dependiendo de los datos de cada índice.

Este trabajo tiene alcances relevantes para la sociedad en general, la academia y gobierno; quienes contarán con información cartográfica de la heterogeneidad paisajística del municipio de Bacalar como una herramienta fundamental para entender el territorio y plantear estrategias presentes y futuras desde gestionar su adecuado manejo y hasta la conservación los recursos naturales.

3.2 Materiales y métodos

Según el mapa de geocomplejos del territorio (Paisaje físico-geográfico), se calculó el número de polígonos y las clases de tipologías por paraje complejo, con este repositorio de datos se calcularon diversos indicadores de heterogeneidad. La Tabla 10 presenta la base de datos empleada.

Tabla 10: Base de datos para el cálculo de indicadores de heterogeneidad.

CTN	Área (Km ²)	Ni	Nc
1.1	296.39	45	2
1.2	103.88	37	2
2.1	1471.75	165	4
3.1	93.76	27	2
4.1	1793.62	98	2
5.1	497.81	19	2
6.1	545.76	5	1
7.1	1033.79	40	1
8.1	134.95	10	1
9.1	3.97	1	1

ni : Número de polígonos de la clase i (*Paraje simple*) en la unidad (*Paraje complejo*); Nc : número de clases de paisajes (*Parajes simples*) presentes en la unidad (*Paraje complejo*).

De acuerdo con Forman (1995), con dos o tres indicadores es suficiente para explicar la heterogeneidad de un territorio. En este caso hemos empleado siete; uno de riqueza, dos de complejidad, tres de diversidad y uno de singularidad. La Tabla 11 ofrece las ecuaciones de estos.

Tabla 11: Indicadores empleados para la evaluación de la heterogeneidad geoecológica.

Indicador	Ecuación	Referencia
Riqueza de Paisajes	$R=Nc/Nc_{max}$.	Romme 1982, Turner 1989
Complejidad Corológica	$CC=ni/A$	Snacken y Antrop 1983
Complejidad Tipológica	$CT=ni/Nc$	Snacken y Antrop 1983
Diversidad de Mc'Intosh	$U=\sqrt{\sum ni^2}$	Mc'Intosh 1991
Diversidad Máxima	$H_{max.} = \ln(Nc)$	Turner 1989
Singularidad de Paisajes	$S=ni/N$	Mateo 2002
Índice de Diversidad Paisajística	$IDP=(ni/A) Nc$	Viktorov 1986

ni : Número de polígonos de la clase i (*Paraje simple*) en la unidad (*Paraje complejo*); Nc : número de clases de paisajes (*Parajes simples*) presentes en la unidad (*Paraje complejo*); Nc_{max} : número máximo de clases de paisajes (*Parajes simples*) posibles de ocurrir en la unidad (*Paraje complejo*); A : área de la unidad en km²; N : número total de polígonos en la unidad (*Paraje complejo*).

Con los resultados obtenidos se analizó una matriz de correlación, para conocer si existía asociación entre indicadores y reducir entonces la cartografía mediante leyendas matriciales de doble entrada. El análisis estadístico se llevó a cabo en STATISTICA 8 (StatSoft 2007). En la representación cartográfica se emplearon cartogramas, apoyados en aplicaciones como los llamados SIG (ESRI, 2012).

3.3 Resultados y discusión

A partir de los resultados obtenidos se construyó la Tabla 12, que ofrece el cálculo de los indicadores de heterogeneidad para los 10 geocomplejos del territorio en el nivel de paraje complejo. Tales resultados, son la base para la matriz de correlación de la Tabla 11.

Tabla 12: Inventario de heterogeneidad geoecológica para el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México

CTN	Indicadores de Heterogeneidad Geoecológica						
	R	CC	CT	U	Hmax.	S	IDP
I.1	0.50	0.15	22.50	34.02	0.69	0.10	0.02
I.2	0.50	0.36	18.50	30.08	0.69	0.08	0.03
II.1	1.00	0.11	41.25	101.63	1.39	0.37	0.01
III.1	0.50	0.29	13.50	19.20	0.69	0.06	0.04
IV.1	0.50	0.05	49.00	70.45	0.69	0.22	0.01
V.1	0.50	0.04	9.50	15.53	0.69	0.04	0.05
VI.1	0.25	0.01	5.00	5.00	0.00	0.01	0.20
VII.1	0.25	0.04	40.00	40.00	0.00	0.09	0.03
VIII.1	0.25	0.07	10.00	10.00	0.00	0.02	0.10
IX.1	0.25	0.25	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00

Como se puede apreciar en la Tabla 13, todos los indicadores mostraron correlación significativa con al menos otro de ellos. La Riqueza de paisajes exhibe elevada correlación con la Diversidad máxima y la Diversidad de Mc'Intosh con la Singularidad paisajística.

Tabla 13: Matriz de correlación entre indicadores de heterogeneidad geoecológica. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

Heterogeneidad Geoecológica	Heterogeneidad Geoecológica	
	Hmax.	U
R	0.97	0.81
S	0.79	0.99

Nota: las correlaciones marcadas (negritas e inclinadas), son significativas a $p < 0.05$.

De acuerdo con los estos resultados, se decidió elaborar la cartografía del indicador de Riqueza, dos de Diversidad y uno de Singularidad de los paisajes. Con ello, se cubre casi completamente todos los elementos que componen la heterogeneidad del paisaje.

Debido a la elevada correlación entre Riqueza y Diversidad Máxima ($r=0.99$), se preparó un mapa único con ambos indicadores. Ya que el indicador de riqueza solo alcanza tres clases a la escala 1:250 000 para el territorio de Bacalar, se decidió conservar esta diferenciación en el mapa unificado con Diversidad Máxima. Los indicadores de Diversidad de Mc'Intosh y la Singularidad de los paisajes demuestran una correlación inversa por lo cual se realizó la combinación de estos dos indicadores en un mapa con cinco clases.

3.3.1 Riqueza y Diversidad Máxima.

La Tabla 14 presenta la clasificación de la Riqueza y Diversidad Máxima de los paisajes del municipio de Bacalar. La Figura 9 ofrece la cartografía de estos indicadores. El índice de Riqueza de paisajes (ver Tabla 11) es una proporción entre el número de clases presentes en la unidad y el número máximo posible de ocurrir. Sus valores varían entre 0 y 1, siendo máxima la riqueza en la unidad que más clases tipológicas posee y mínima en la unidad que menos clases tipológicas exhibe. Por su parte la ecuación de Hmax solo toma en cuenta las clases tipológicas en un orden superior y no contempla el conjunto de polígonos alojados dentro de un número determinado de clases, ni la superficie que utilizada por estos.

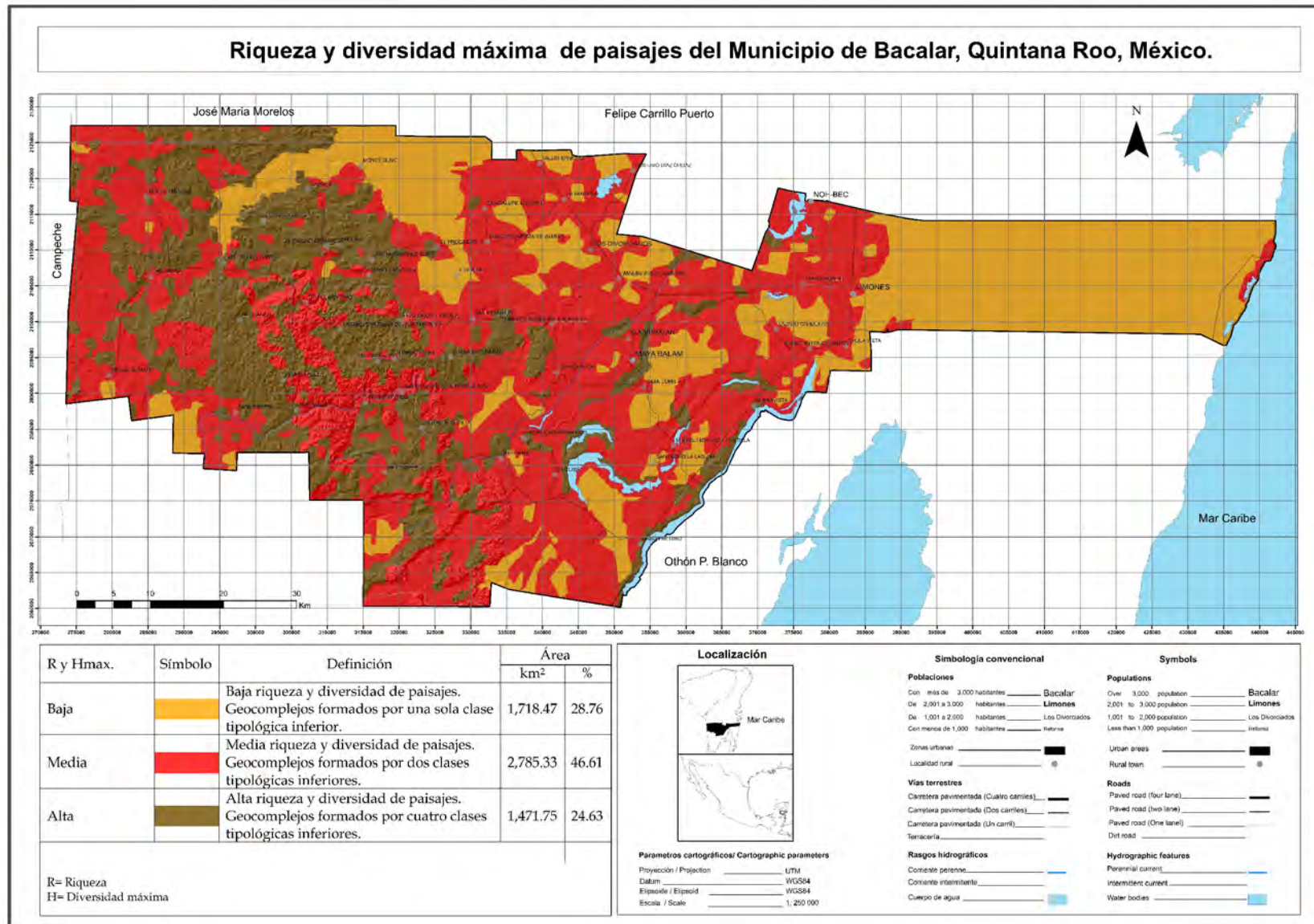


Figura 9: Riqueza y Diversidad máxima de paisajes del Municipio de Bacalar.




Fuente: Elaboración propia

En el territorio predominan los geocomplejos con Riqueza y Diversidad máxima **Media** de paisajes, que ocupan el 46.61% del área de estudio. En todos los casos se trata de planicies tectónico-carsificadas acolinadas y onduladas formadas por el complejo de rocas carbonatadas. Se sitúan en patrones espaciales bien definidos; dos amplios polígonos en la zona central y hacia el occidente del municipio, así como una pequeña franja en la parte más oriental, junto a la línea de costa (Ver Figura 9).

La heterogeneidad aquí se explica por la presencia de cinco superficies con diferente grado de inclinación. La vegetación incluye tres importantes formaciones boscosas; la selva mediana subperennifolia, la selva baja caducifolia y la selva baja espinosa subperennifolia, que deben atesorar importantes valores de biodiversidad. La diversidad de suelos es mayor, incluyendo Leptosol, Phaeozem, Vertisol, Gleysol y Luvisol.

Estas condiciones facilitan que las unidades de esta clase presenten entre los complejos tipológicos 1,3, 4 y 5 representados entre 45, 37, 27, 98 y 19 polígonos, lo cual da como resultado la mayor categoría de heterogeneidad del territorio. Teniendo en cuenta que esta clase abarca 2785.33 km², es posible diseñar escenarios de ordenamiento que permitan ampliar el uso del suelo actual, siempre que se garantice la protección de importantes porciones de esta.

Tabla 14: Riqueza y Diversidad máxima de paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

R y Hmax.	Símbolo	Definición	Área	
			km ²	%
Baja		Baja riqueza y diversidad máxima de paisajes. Geocomplejos formados por una sola clase tipológica inferior.	1,718.47	28.76
Media		Media riqueza y diversidad máxima de paisajes. Geocomplejos formados por dos clases tipológicas inferiores.	2,785.33	46.61
Alta		Alta riqueza y diversidad máxima de paisajes. Geocomplejos formados por cuatro clases tipológicas inferiores.	1,471.75	24.63

En segundo lugar, se sitúan los geosistemas de clase **Baja** de Riqueza y Diversidad máxima que ocupan 1,718.47 km², o sea, 28.76 % del territorio. Incluye a una planicie lacuno-acumulativa, planicie tectónico-acumulativa, una planicie fluvio-acumulativas y la planicie marino-eólica acumulativa. La primera formada por depósitos lacustres y se distribuyen en la porción occidental y centro-sur del área de estudio. La planicie lacuno-acumulativa está constituida por depósitos lacustres y se presenta, indistintamente, en el noroccidente del territorio, en pequeños parches de la zona central y un polígono en la franja oriental del municipio. La planicie marino-eólica corresponde a las playas y dunas; ocupa una estrecha franja en la línea de costa y está formada por depósitos marinos (ver Figura 9).

La categoría mínima heterogeneidad de esta combinación de indicadores se explica por su presencia en 4 clase tipológica y hasta 5, 40, 10 y 1 polígonos. Los tipos de vegetación natural son la selva mediana subperennifolia y la selva baja espinosa, casi siempre en estado secundario y la vegetación de dunas costeras. También aparecen pastos cultivados y cultivos agrícolas. La diversidad edáfica está representada por cinco tipos de suelos como Leptosol, Vertisol, Gleysol, Phaeozem y Arenosol en las cadenas de dunas.

La clase de **Baja** riqueza y diversidad máx., por incluir las unidades fluviales, es quizás la de máximo potencial agropecuario, lo cual explica su mayor nivel de asimilación antrópica. Sin embargo, la presencia de las planicies lacustre y marino-eólica; únicas en el territorio, señala la necesidad de medidas de protección y quizás, de restauración ecológica. La fuerte restricción espacial de las cadenas de dunas y la existencia en la misma de matorrales y pastizales costeros característicos de estos geosistemas señala la necesidad de implementar manejos compatibles y de preservar una parte importante de estos geocomplejos. Lo mismo ocurre con la presencia de las sábanas en la planicie lacustre.

La clase **Alta** de Riqueza y Diversidad máx. (Tabla 14) es la que menos superficie ocupa en el área de estudio con el 24.63%, aun así, abarca más de 1,470 m², por lo que su importancia es significativa. Se trata de una planicie tectónico-carsificadas acolinadas formada por un complejo de rocas carbonatadas. Se sitúan hacia el

occidente y centro del municipio con ausencia en la parte más oriental (Ver Figura 9).

La elevada heterogeneidad de esta clase se explica por la presencia de 4 superficies con diferentes grados de inclinación. La vegetación incluye tres importantes formaciones boscosas; la selva mediana subperennifolia, la selva baja caducifolia y la selva baja espinosa subperennifolia, que deben atesorar importantes valores de biodiversidad. La diversidad de suelos es mayor, incluyendo Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.





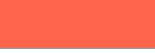
Estas condiciones se presentan en una unidad tipológica de geocomplejos representados en 165 polígonos, lo cual da como resultado la mayor heterogeneidad del territorio. En estas áreas deben hacerse los mayores esfuerzos de muestreo biológico, al tiempo que señalan que el municipio posee condiciones ideales para la conservación de la naturaleza. Además, es aquí donde deben priorizarse los esfuerzos de eco-rehabilitación de paisajes, pero teniendo en cuenta que esta clase abarca más de 1,400 km², es posible diseñar escenarios de ordenamiento que permitan ampliar el uso del suelo actual, siempre que se garantice la protección de importantes porciones de esta.

3.3.2 Singularidad de los paisajes.

El Índice de Singularidad es un indicador de rareza o unicidad de los paisajes, es decir, nos permite conocer las unidades más raras y menos repetibles del territorio. Sus valores siempre son mayores a cero. Su interpretación es inversa, la singularidad aumenta cuando existen menos polígonos y es mínima en las unidades que poseen más polígonos. No obstante, este índice posee una limitación, no considera las clases tipológicas; solo la cantidad de polígonos por unidades. El índice de diversidad de Mc'Intosh es un indicador directo de heterogeneidad; es mayor a medida que aumentan las clases y el número de polígono y viceversa.

La Tabla 15 ofrece los resultados de la evaluación del territorio y la Figura 10 presenta el cartograma correspondiente a la combinación de estos indicadores.

Tabla 15: Singularidad y Diversidad de Mc'Intosh de los paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

S y U	Símbolo	Definición	Área	
			km ²	%
Muy Baja		Muy baja diversidad de paisajes y Muy alta singularidad. Geocomplejos formados por una sola clase tipológica inferior y entre 1 y 10 polígonos.	684.68	11.46
Baja		Baja diversidad de paisajes y Alta singularidad. Geocomplejos formados por dos clases tipológicas inferiores y entre 19 y 27 polígonos.	591.57	9.90
Media		Media diversidad de paisajes y Media singularidad. Geocomplejos formados por entre 1 y 2 clases tipológicas inferiores y entre 37 y 45 polígonos.	1434.06	24.0
Alta		Alta diversidad de paisajes y Baja singularidad. Geocomplejos formados por 2 clases tipológicas inferiores y 98 polígonos.	1793.62	30.01
Muy Alta		Muy alta diversidad de paisajes y Muy baja singularidad. Geocomplejos formados por 4 clases tipológicas inferiores y 165 polígonos.	1471.75	24.63

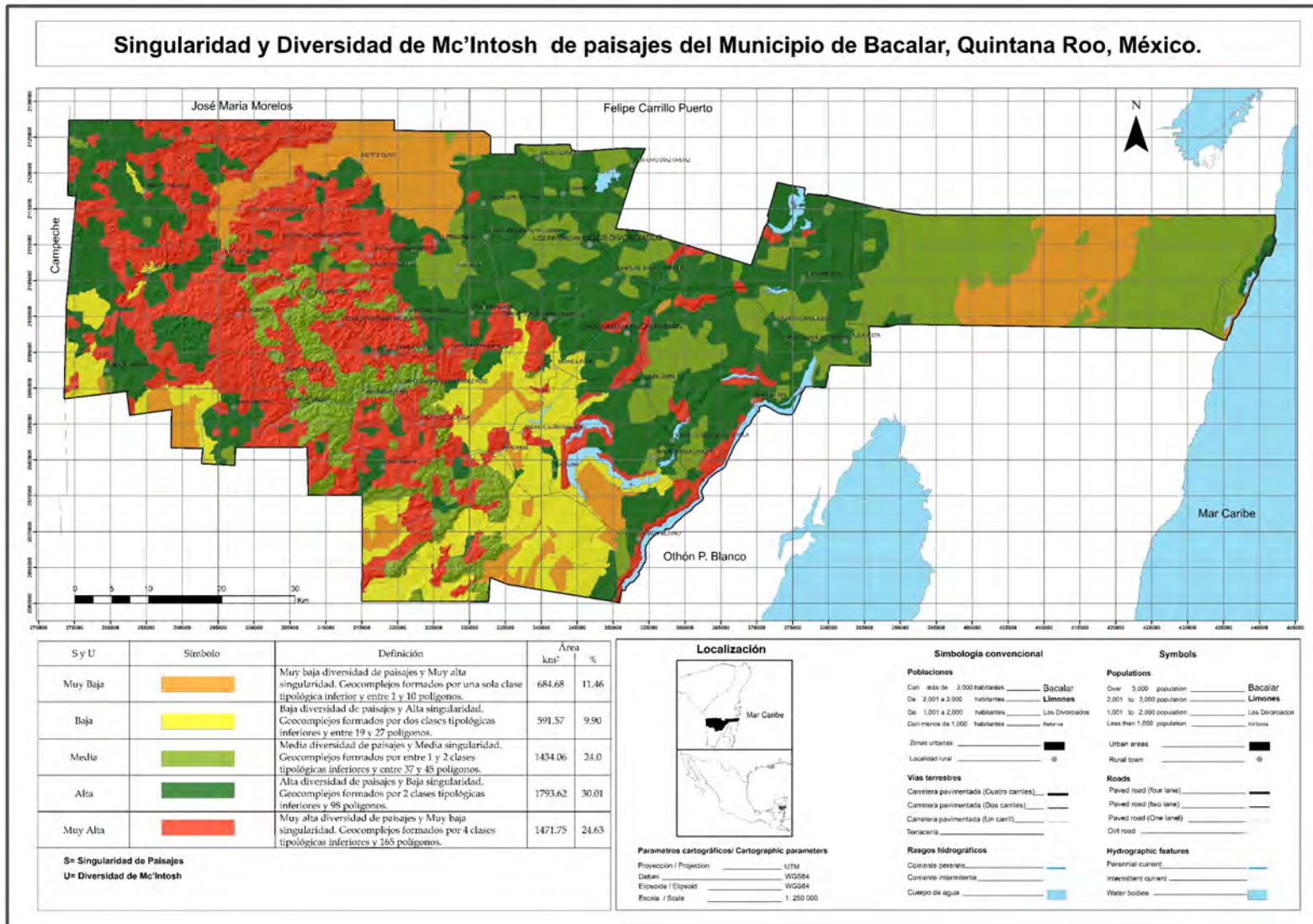


Figura 10: Singularidad y Diversidad de Mc'Intosh de los paisajes. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

Fuente: Elaboración propia

Al contrario de otros índices, en la combinación de Singularidad y Diversidad de McIntosh la clase más importante es la clase Muy Baja, debido que en su conceptualización señala las unidades menos diversas por lo tanto las más raras, únicas y singulares del territorio, según la cantidad de polígonos que la representan Tabla 12. Tal cualidad disminuye a medida que se pasa a las otras categorías, al aumentar la homogeneidad.

Para el caso de estudio, la clase de Muy Baja corresponde a las unidades de planicies marino-eólicas, fluviales y lacustres. Como se aprecia en la Figura 8, esta clase se encuentra en el norte, el sur y la porción este del municipio, correspondiendo a geosistemas de humedales y litorales.

El hecho de aquí existan tipos únicos de vegetación (sabana y matorrales costeros), así como un tipo de suelo irrepitible en el territorio (Arenosol cálcico), indica la necesidad de aumentar los muestreos biológicos y de medidas de protección.

3.4 Consideraciones finales.

La Tabla 16 presenta la evaluación de la heterogeneidad del territorio por unidades de paisajes.

Tabla 16: Evaluación de la heterogeneidad geocológica del municipio Bacalar, Quintana Roo, México.

CTN	Área (km ²)	Heterogeneidad geocológica	
		R y Hmax.	S y U
I.1	296.39	M	M
I.2	103.88	M	M
II.1	1471.75	A	MA
III.1	93.76	M	B
IV.1	1793.62	M	A
V.1	497.81	M	B
VI.1	545.76	B	MB
VII.1	1033.79	B	M
VIII.1	134.95	B	MB
IX.1	3.97	B	MB

Algunos apuntes son interesantes de su análisis:

- Los indicadores de heterogeneidad, es decir, riqueza, diversidad y complejidad tipológica son idénticos en la mitad de las unidades. En el resto se separan solo por un integrado, aun cuando los dos primeros se clasificaron en tres clases y el tercero en cinco clases. El indicador de unicidad es básicamente inverso a los de heterogeneidad. Ello señala lo robusto del análisis, aunque las ecuaciones de los distintos indicadores sean diferentes y contemplen distintas variables. Estos resultados ratifican la afirmación de Forman (1995); es decir, dos o tres indicadores son suficientes para conocer la heterogeneidad de un territorio.
- El municipio de Bacalar posee más de 3260 km² de Alta riqueza y diversidad de paisajes. Además, contiene 4299 km² de Alta o Muy Alta complejidad tipológica. Ello señala claramente la necesidad de medidas de protección en estos geosistemas y también, sugiere que es en estas unidades donde deben incrementarse los inventarios biológicos.
- El territorio incluye 1,276 km² de Alta o Muy Alta singularidad. Estas áreas también deben ser protegidas, al menos parcialmente, pues poseen tipos de vegetación y de suelos únicos para todo el municipio. Además, en estas unidades pueden localizarse especies endémicas.

3.5 Conclusiones.

Los indicadores de heterogeneidad (7 en total) mostraron una fuerte correlación con al menos otro de ellos, que siempre osciló entre $R=0.79$ y $R=0.99$. Ello señala la fortaleza del enfoque teórico-metodológico empleado y permite confirmar que 2-3 índices son suficientes para conocer la heterogeneidad de un territorio

En el área del territorio del municipio de Bacalar predomina la categoría Media de Riqueza y Diversidad máxima, que se distribuye en más de 2,785.33 km². Este hecho permite sugerir que sea en estas unidades donde se incrementen los

inventarios biológicos, al tiempo que indica la posibilidad de aprovechamiento cubriendo la necesidad de medidas de protección y conservación.

La unidad 9, coinciden en poseer los niveles más bajos para en ambos casos, es decir, **Baja** Riqueza y Diversidad Máxima y la categoría **Muy Baja** Diversidad de Mc'Intosh Muy Alta Singularidad. Deben, por lo tanto, ser consideradas de máxima prioridad para esfuerzos de conservación, restauración ecológica de ser necesario y de inventarios biológicos.

El territorio posee suficiente superficie para lograr adecuadas estrategias de manejo que garanticen un uso adecuado de los recursos y la conservación de sus valores naturales. Ello debiera ser tomado en cuenta en la definición de políticas y usos de los ordenamientos territoriales.

3.6 Referencias del capítulo.

Carcavilla, L., Durán, J. J., & López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10(2008), 1299-1303.

Dominik, C., Seppelt, R., Horgan, F. G., Settele, J., y Václavík, T. (2022). Landscape heterogeneity filters functional traits of rice arthropods in tropical agroecosystems. *Ecological Applications*, e2560.

Environmental System Research Institute (ESRI). 2012. Arc GIS Desktop ver. 10.1., USA.

Fetisov, D. M. (2011). Landscape diversity in the Russian part of the Lesser Khingan. *Geography and Natural Resources*, 32(1), 60-64.

Flores, D. A. D (2016). Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas del estado de Puebla, México. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Forman, R.T. (1995). Land mosaics: The ecology of landscape and regions. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, 632 pp.

Ganzei, K.S. y Ivanov, A.N (2012) Landscape diversity of the Kuril Islands. *Geogr. Nat. Re-sour.* 33, 142–148 <https://doi.org/10.1134/S1875372812020072>.

Herrera-Valencia, O. J., Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, A. G., Hernández Aguilar, M. L (2022). Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México. Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA), UNAM. Marco atípico, edición digital, escala 1:250 000, Universidad Nacional Autónoma de México, campus Morelia, Michoacán.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2019). Marco Geoestadístico – Datos vectoriales. México.

Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography*, 7, 186-190.

Lavrinenko, I. A. (2012). Landscape diversity of specially protected natural territories of Nenets Autonomous Okrug. *Geography and Natural Resources*, 33, 37-44.

Mateo, J. 2002. Geoecología de los Paisajes: Bases para la Planificación y Gestión Ambiental. Universidad de La Habana, Cuba, 205 p.

McIntosh, R. P. 1991. Concept and terminology of homogeneity and heterogeneity. In J. Pickett & S. T. A. Kolasa (Eds.): *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, N.Y., pp: 24–26.

Morales, H., & Priego, A. (2020). La diversidad paisajista en el estado de Chiapas, México. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 59(1), 316-336.

Plan estatal de desarrollo Quintana Roo 2016-2022. http://www.sefiplan.qroo.gob.mx/coplade/subidos/PED_2016_2022_PO2020_01_17.pdf.

Priego Santander, Á., Moreno Casasola, P., Palacio Prieto, J. L., López Portillo, J., y Geissert Kientz, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones geográficas*, (52), 31-52.

Priego, A., y Esteve, M. A. (2017). Análisis de la complejidad y heterogeneidad de los paisajes de México. *Papeles de Geografía*, (63), 7-20. doi: 10.6018/geografia/2016/259991.

Priego-Santander, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N., y Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38.

Ramírez, L. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Romme, W. H. 1982. Fire and landscape diversity in subalpine forest of Yellowstone National Park. *Ecological Monographs* 52: 199–221.

Snacken, F. y M. Antrop. 1983. Structure and dynamics of landscape systems. In: *Landscape synthesis and geocological foundations of the complex landscape management*. Veda Publications, Bratislava, pp:10-30.

StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

Štefunková, D., & Hanušin, J. (2015). Analysis of the spatial and temporal distribution of selected landscape diversity indexes in detailed scale (example of viticultural landscape Svätý Jur). In *Landscape and landscape ecology. Proceedings of the 17th international symposium on landscape ecology*. Institute of landscape ecology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava (pp. 185-191).

Troche Souza, C. H. (2019). Evaluación geocológica de humedales costeros como almacenes de carbono.

Turner, M. G. 1989. Landscape Ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20: 171–197.

Viktorov, A. S. 1986. *La imagen del paisaje*. Editorial Misl, Moscú, 179 p.

Zymarovieva, A., Zhukov, O., Fedoniuk, T., Pinkina, T., y Hurelia, V. (2021). The relationship between landscape diversity and crops productivity: Landscape scale study. *Journal of Landscape Ecology*, 14(1), 39-58.

Capítulo IV. Potenciales naturales de los paisajes de humedal

Resumen

En este capítulo se resalta la necesidad de que las decisiones relacionadas con la conservación, protección y aprovechamiento del territorio estén basadas en las características naturales de los paisajes y ecosistemas. Sin embargo, se reconoce que, en la práctica, estas decisiones no coinciden con las divisiones naturales. En este contexto, se estudian los paisajes de humedal del municipio de Bacalar, Quintana Roo, enfatizando la importancia de un enfoque que considere la funcionalidad de los ecosistemas y sus servicios esenciales.

Se subraya que la importancia de los humedales radica en los múltiples servicios que ofrecen tanto al medio natural como a la población, destacando la falta de un marco normativo adecuado para todo el territorio y la importancia geoecológica de los servicios ecosistémicos que estos paisajes proporcionan.

Palabras clave: humedal, frontera natural, servicios ecosistémicos, potenciales naturales

4.1 Introducción

Las determinaciones para las acciones de planificación, preservación y conservación de los ecosistemas, es decir las intervenciones humanas en el territorio, deberían alinearse a las fronteras naturales de los paisajes, pero en la práctica los tomadores de decisiones establecen sus planteamientos de forma contraria, es decir, establecen confines espaciales político-administrativos; a causa de esta situación, se analizaron las características y propiedades de los paisajes de humedal que se ajustan a la municipalidad de Bacalar. En específico la elección de la zona de estudio fue dada por dos escenarios: falta de un marco normativo para la totalidad del territorio y la importancia geoecológica del valor que sus servicios ecosistémicos representan.

De este modo tenemos que la importancia de los paisajes de humedal radica principalmente en los servicios que prestan al medio natural y a la población (López, et al, 2010). Con la publicación de la evaluación del Ecosistema del Milenio (2005) surgió una categorización para los servicios ecosistémicos, donde los servicios se describen como siendo el aprovisionamiento, la regulación, la cultura y el apoyo (Tabla 17).

Tabla 17: Categorización de los servicios ecosistémicos de los humedales.

Aprovechamiento directo
Apoyo a la extracción de recursos acuáticos
Cultivo de turba para energía y jardinería
Capturas de animales de piel y otras especies
Obtención de madera
Cultivo y cosecha de alimentos.
Control ambiental
Purificación de agua
Prevención de inundaciones fluviales
Mitigación de riesgos costeros por marejadas, tsunamis y ciclones
Retención de dióxido de carbono
Hábitat de especies vulnerables y amenazadas
Beneficios culturales
Valor estético del paisaje
Áreas de recreación
Formación ambiental
Fundamento de las culturas humanas
Avistamiento de aves, turismo sostenible
Servicios de soporte
Funciones clave, como el desarrollo hídrico del suelo y la productividad, además de actuar como sistemas químicos

Fuente: William J. Mish, 2015

El primer paso para la toma de decisiones o acciones de cualquier índole es definir el objeto de estudio en cuestión. Es especialmente complejo la conceptualización de los humedales, ya que implica describir sus características generales, las cuales pueden variar o complementarse según el organismo que los clasifique. En otras palabras, se puede decir que cada país define los humedales basados en sus particularidades ecológicas, determinando su régimen de gestión y manejo (Mitsch y Gosselink, 2000).

En este orden de ideas, y considerando que el objetivo de esta investigación es definir las potencialidades naturales de los paisajes de humedal para la clasificación de actividades como protección, conservación, restauración y aprovechamiento, y

realizando una breve descripción de los servicios y beneficios ecosistémicos que representan; se citan a continuación las definiciones literales que se utilizaron en el desarrollo de esta investigación, esto con el fin de puntualizar la definición de humedal y las fuente de la información que rigen esta conceptualización.

La RAMSAR, quien es el organismo internacional encargado de designar humedales de importancia internacional, cuenta con una de las definiciones de las más completas e internacionalmente aceptadas:

“Son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Adicionalmente los humedales podrán incluir sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal” (Ramsar, 1971).

En el procedimiento de categorización de humedales, se puede diferenciar según su ubicación las siguientes tipologías: marinos, continentales, costeros y artificiales.

La RAMSAR a su vez colabora con las instituciones de cada país a cargo de los humedales, en el caso de México la clasificación y delimitación procede a través de **CONAGUA** y se enmarca en la Ley de Aguas Nacionales, Artículo 86 BIS 1 fracciones I, II.; en donde en su artículo 3º, inciso XXX define a los humedales como:

“Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”.

4.1.1 Problemas con la clasificación de humedales

En general, el objetivo de cualquier clasificación es ordenar los datos existentes. En el caso de los geocomplejos del municipio de Bacalar es importante sumar a la clasificación los aspectos funcionales, ya que, a mayor conocimiento del sistema, mejor será el manejo que se le pueda otorgar (Ginzburg, et al., 2005).

Generalmente los tipos de descripción de las características de los humedales se mantienen a nivel estructural o funcional en la Figura 11 se describen los elementos consideran cada una de estas categorías.

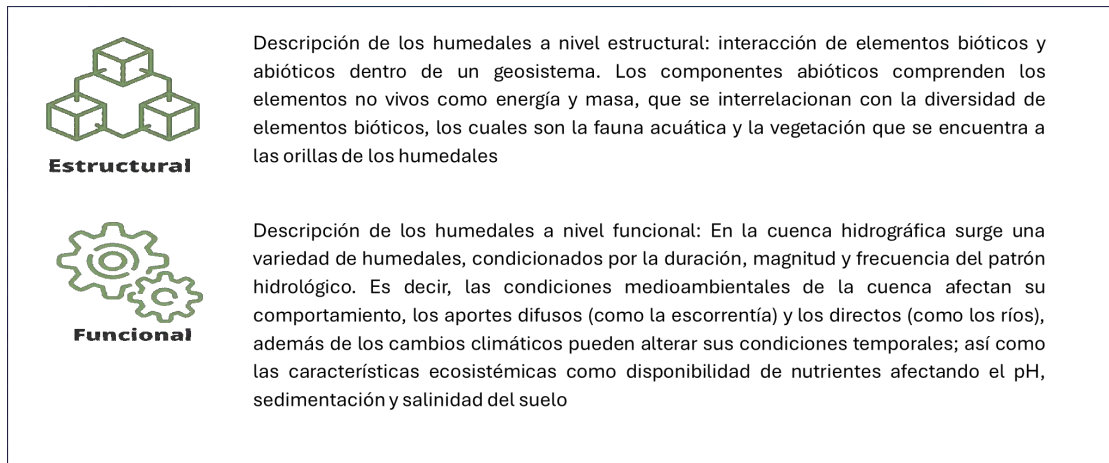


Figura 11: Niveles de descripción de los humedales
Fuente: Elaboración propia con base en Contreras y De la fuente (2006).

Como se mencionó anteriormente la autoridad con mayor jerarquía en definición de humedal a nivel internacional es la Convención RAMSAR, quien incluye en la conceptualización de los humedales a los tipos urbanos, no costeros y costeros. Se especifica que los humedales costeros deben tener una profundidad de hasta 6 metros, en México esta clasificación está regulada en la norma NOM 022 SEMARNAT 2003, pero la especificación queda ambigua, ya que no se esclarece desde que punto se toma la medición; con este punto se trata de denotar los difícil de clasificación de los humedales, aun en consulta de las clasificaciones oficiales.

Para efectos de esta investigación se utilizó un modelo híbrido para la delimitación del humedal. Empleando como base espacial la carta de humedales de CONAGUA,

quien maneja una estructura jerárquica, que para la escala 1:250 000 se tomó como un sistema; representando la base cartográficamente. El otro elemento que se utilizó fue el paisaje, que visto desde la teoría general de sistemas, y gracias a Sochava (1978), se entendió como un geosistema, es decir la unidad con zonas húmedas, en las que los elementos antrópicos, geográficos y biológicos interactúan entre sí y con su entorno, con una retroalimentación de información materia y energía, donde el agua es el conducto que dicta el funcionamiento general (Alfonso, et al., 2015).

Resalta entonces la importancia de las estrategias y decisiones que se tomen sobre este tipo de ecosistema ya que son áreas claves en el medio físico, por lo cual al incorporar una valoración de los paisajes de humedal para obtener los potenciales naturales para las actividades de gestión presente en el territorio proporciona nuevas variables que podrán ser incluidas al momento de plantear los ordenamientos ecológicos territoriales, manejo de ecosistemas, aprovechamiento entre otras.

4.2 Materiales y métodos

El objetivo de este capítulo es conocer el régimen de utilización del paisaje basado en sus características. A continuación, se describen los pasos metodológicos.

- **Delimitación espacial:** como ya se mencionó con anterioridad, la investigación de se llevó a cabo desde los preceptos teórico-metodológicos de la geoecología del paisaje, a partir del cual se elaboró el mapa tipológico del Paisaje de Bacalar (Figura 4), base para el desarrollo del objeto de estudio de este capítulo, es decir, el estudio de los paisajes de humedal. El segundo componente necesario fue la capa del inventario de humedales de la CONAGUA (2021).

El segundo recurso necesario para el mapa de humedal fue el inventario de humedales de CONAGUA (2021) con una sobre posición cartográfica entre los dos insumos se produjo el acotamiento espacial de los humedales del municipio de Bacalar. Cabe mencionar que el proceso de sobre posición es uno de los procesos más recurridos de los instrumentos de la examinación geoespacial, pero se tiene la idea generalizada que por la simplicidad de su proceso no produce resultados confiables. El denominador común del uso de esta herramienta es integrar diversas capas cartográficas con información espacial para generar nuevos mapas, en donde la resultante esta relacionada a la variable de investigación.

La función sobre posición divide las entidades de la capa de entrada donde están superpuestas por las entidades de la capa de superposición. Se crean nuevas áreas donde intersecan los polígonos. Si la capa de entrada contiene líneas, las líneas se dividen donde las cruzan los polígonos. Estas nuevas entidades se almacenan en la capa de salida, la capa de entrada original no se modifica. Los atributos de las entidades de la capa de superposición se asignan a las nuevas entidades correspondientes en la capa de salida, junto con los atributos originales de la capa de entrada (ESRI, 2021).

- **Generación de modelos teóricos:** Se realiza una revisión del marco técnico y legal en donde se puedan obtener las variables de los distintos tipos de gestión y regímenes de utilización de los paisajes de humedal, también se incluyen variables de heterogeneidad paisajística y del Índice de Antropización; obteniéndose una matriz a la cual se le nombra **Potenciales naturales**. En la Tabla 18 se presenta un ejemplo.

Tabla 18: Ejemplo de un modelo óptimo para gestión y régimen de paisaje de humedal.

LOCALIDAD	Tipo de relieve	Rango de Pendiente	Tipo de vegetación	Edafología	IACV	Porcentaje de antropización	Heterogeneidad Geoecológica	
							R y Hmax.	S
I								
II								
III								
IV								
V								
VI								
VII								
VIII								
IX								

Fuente: Elaboración propia.

El último paso del proceso es traducir los datos obtenidos en una cartografía categórica de los potenciales naturales de gestión y protección de los paisajes de humedal del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

4.3 Resultados

Dentro de los primeros insumos procesados y obtenidos, tenemos el mapa de Paisaje de humedal (Figura 12), que su delimitación espacial sirve como unidad de análisis básica.

Paisajes de Humedal del Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

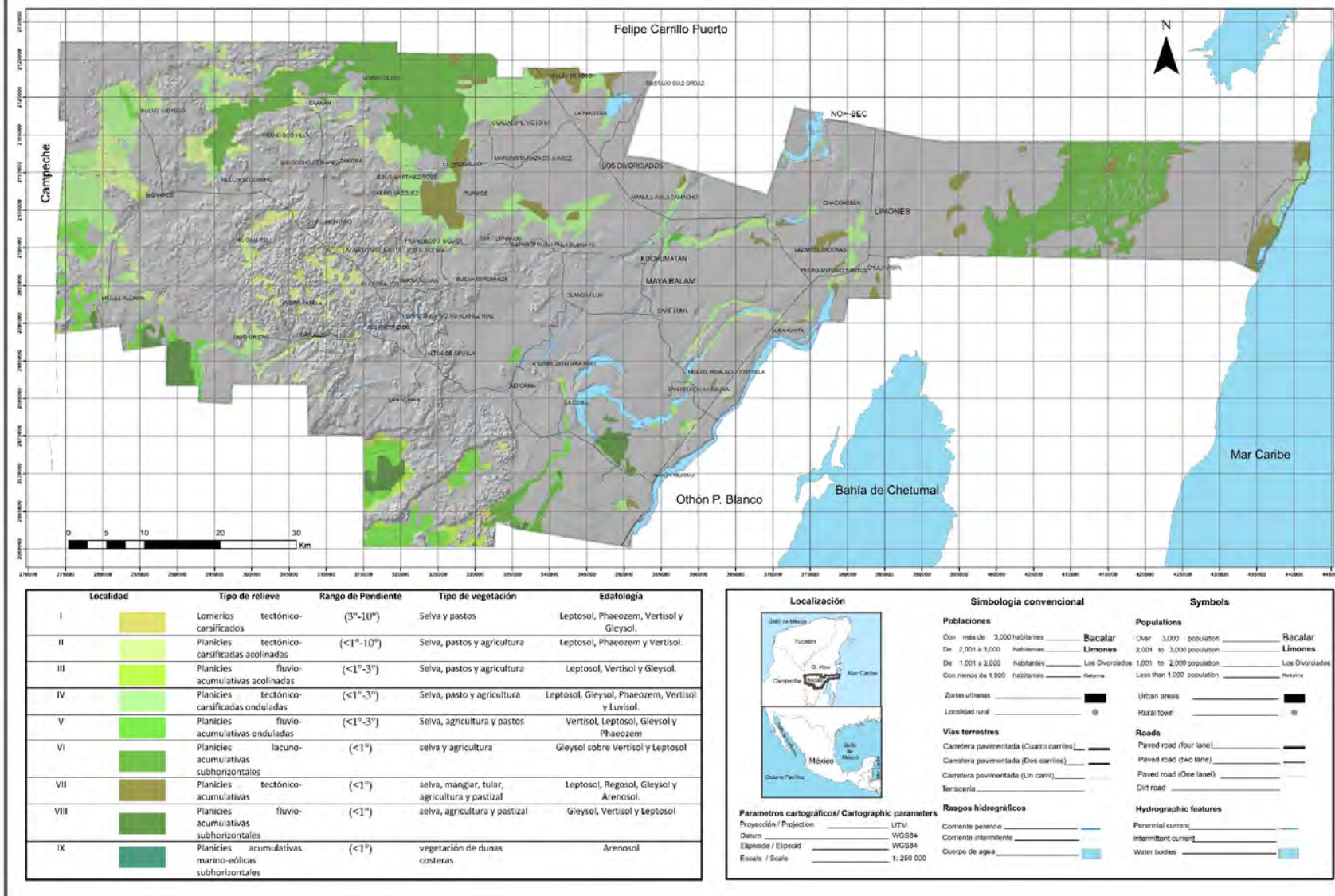


Figura 12: Mapa de Paisajes de humedal del municipio de Bacalar, Quintana Roo.










Fuente: Elaboración propia con base en CONAGUA Datos vectoriales de los humedales en escala 1:250 000 (CONAGUA, 2021) y mapa de paisajes físico-Geográficos. (Herrera, et al 2022).

En la distribución espacial de las unidades de paisaje de humedal se obtuvo que éstas ocupan el 21.88% (6,034.64 km²) del total del territorio del municipio de Bacalar que comprenden 9 localidades. Entre las localidades más representativas por su extensión territorial destacan la localidad VI con 7.69%, la cual está compuesta por un paraje complejo y un paraje simple, Planicies lacuno-acumulativas subhorizontales, complejo de colinas, superficies y cauces; con pendientes que son menores <1°, principalmente conformados por Gleysol a pesar de que predomina principalmente la cobertura de selva se encuentran áreas destinadas para la agricultura. La segunda unidad de paisaje con mayor superficie es la localidad IV con un porcentaje 5.50% del total del territorio de Bacalar, compuesta por un paraje complejo y dos parajes simples, Planicies tectónico-carsificadas onduladas; complejo de colinas residuales, superficies y cauces; con pendientes que van desde los 3° hasta <1°, con edafología compuesta por Leptosol, Gleysol, Phaeozem principalmente, con cobertura de selva, pasto y agricultura. La Localidad II ocupa un 2.96% del total del territorio, con un paraje complejo y dos parajes simples, compuesta por Planicies tectónico-carsificadas acolinadas, complejo de colinas, superficies y cauces; con pendientes que van de 10° a <1°, con suelo de Leptosol y cobertura de selva.

Las unidades que caen en el caso contrario son la localidad I con apenas un 0.41% de ocupación territorial, compuesta por dos parajes complejos y dos parajes simples, conformados por Planicies tectónico-carsificadas acolinadas, complejo de colinas, superficies y cauces; con pendientes que van de 10° a <1°, con Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol, Selva mediana subperennifolia primaria, secundaria arbustiva y arbórea y pastos. La unidad III tiene un 0.31% de la superficie del municipio, compuesta por Planicies fluvio-acumulativas acolinadas, complejo de vegas y cauces, con pendientes de 3° a <1°, sobre Leptosol, y una cobertura de selva, pastos y agricultura. La unidad con menor superficie es la localidad IX con apenas 0.03%, Planicies acumulativas marino-eólicas subhorizontales; complejo de crestas, superficies y cauces, sobre arenosol y vegetación de dunas costeras.

Una vez realizado el mapa de paisajes de humedal y los atributos presentes en su tabla se complementa con indicadores producto de los objetivos del IACV y heterogeneidad del capítulo II y III respectivamente; estos valores lo podemos observar en la Tabla 19.

Tabla 19: Unidades de Paisaje de humedal

LOCALIDAD		Tipo de relieve	Rango de Pendiente	Tipo de vegetación	Edafología	IACV	Porcentaje de antropización	Heterogeneidad Geocológica		
								R y Hmax.	S	
I	1.1		lomeríos tectónico-carsificados; complejo de cumbres, laderas y barrancos.	(10° a 3°)	Selva mediana subperennifolia primaria, secundaria arbustiva y arbórea y pastos cultivados	Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.	Medio	4.38	M	M
	1.2		lomeríos tectónico-carsificados, complejo de superficies y cauces.	(3° a <1°)	Selva y pastos	Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.	Medio	4.38	M	M
II	2.1		Planicies tectónico-carsificadas acolinadas, complejo de colinas, superficies y cauces	(10° a <1°)	Selva, pastos y agricultura	Leptosol, Phaeozem y Vertisol.	Alto	12.62	A	MA
III	3.1		Planicies fluvio-acumulativas acolinadas, complejo de vegas y cauces	(3° a <1°)	Selva, pastos y agricultura	Leptosol, Vertisol y Gleysol.	Alto	12.62	M	B
IV	4.1		Planicies tectónico-carsificadas onduladas; complejo de colinas residuales, superficies y cauces	(3° a <1°)	Selva, pasto y agricultura	Leptosol, Gleysol, Phaeozem, Vertisol y Luvisol.	Alto	12.62	M	A
V	5.1		Planicies fluvio-acumulativas onduladas; complejo de vegas y cauces	(3° a <1°)	Selva, agricultura y pastos	Vertisol, Leptosol, Gleysol y Phaeozem	Muy Alto	16.58	M	B
VI	6.1		Planicies lacuno-acumulativas subhorizontales; complejo de colinas, superficies y cauces	(<1°)	selva y agricultura	Gleysol sobre Vertisol y Leptosol	Muy Bajo	1.00	B	MB
VI I	7.1		Planicies tectónico-acumulativas; complejo de colinas, superficies y cauces	(<1°)	selva, manglar, tular, agricultura y pastizal	Leptosol, Regosol, Gleysol y Arenosol.	Bajo	6.18	B	M
VI II	8.1		Planicies fluvio-acumulativas subhorizontales; complejo de vegas y cauces	(<1°)	selva, agricultura y pastizal	Gleysol, Vertisol y Leptosol	Muy Alto	16.58	B	MB
IX	9.1		Planicies acumulativas marino-édicas subhorizontales; complejo de crestas, superficies y cauces	(<1°)	vegetación de dunas costeras	Arenosol	Muy bajo	1.00	B	MB

Fuente: Elaboración propia.

Potenciales naturales, es importante señalar que las leyes, normas, ordenamientos y la presente tesis no tienen en su espíritu la prohibición absoluta de los usos de los paisajes de humedal, hecho insostenible para la vida como la conocemos; la idea central de esta tesis es impulsar una producción (actividades económico-productivas) que sean compatibles con las políticas de protección, conservación, restauración, uso y aprovechamiento. La representación cartográfica se puede ver en la Figura 13.

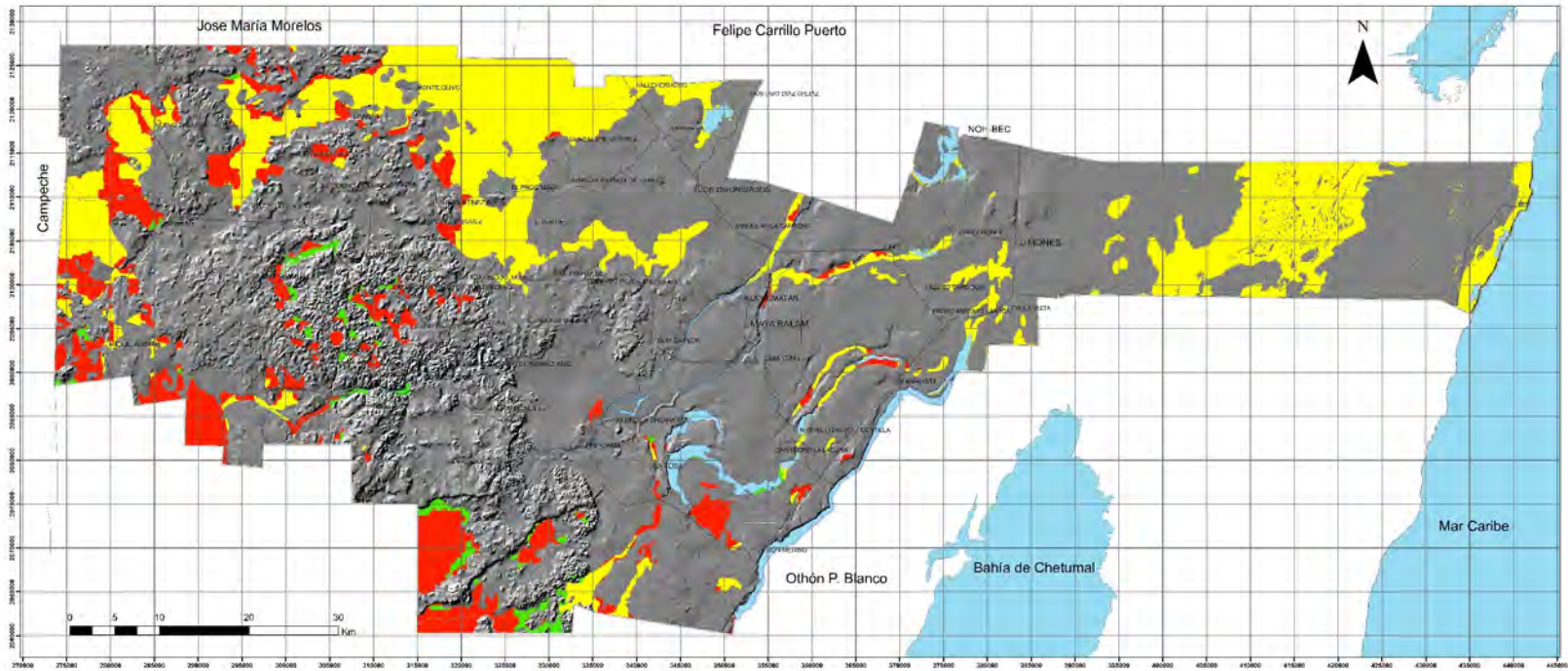
Para poder establecer relación entre las características de las pendientes, coberturas, suelos, niveles de antropización y heterogeneidad geocológica del paisaje de humedal, es decir, su potencial natural se revisó la compatibilidad con los tipos de gestión expresados en las leyes, tratados, normas y reglamentos; de los cuales las más alineados con los paisajes de humedal son los siguientes (Tabla 20):

Tabla 20: Reglamentos jurídicos aplicables a los potenciales naturales de los paisajes de humedal.

Régimen jurídico	Descripción
CONSTITUCIÓN POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.	<p>“Artículo 27.- La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.</p> <p>...</p> <p>Párrafo tercero: “La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación.</p> <p>.....</p> <p>En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques</p>
CONVENCIÓN RELATIVA A LOS HUMEDALES DE IMPORTANCIA INTERNACIONAL ESPECIALMENTE COMO HÁBITAT DE AVES ACUÁTICAS. RAMSAR, IRÁN, 2.2.1971	
LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.	REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL., REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS, REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO.
LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE	REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE
LEY FEDERAL DE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN	
LEY GENERAL DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE Y SU REGLAMENTO.	En el artículo 7 fr. XLV, Los humedales se consideran dentro de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable como “Vegetación forestal”, considerando la existencia de plantas en agua, que forman ecosistemas
LEY DE AGUAS NACIONALES Y SU REGLAMENTO.	
REGLAMENTO INTERIOR DE LA SEMARNAT. Contempla como órgano Desconcentrado a la CONANP (Comisión de Áreas Naturales Protegidas). Cuando dentro de un Área Natural Protegida se encuentra una zona de humedales.	LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-022-SEMARNAT-2003

Después de revisar el marco legal y sobre todo el normativo se pudo llegar a la clasificación de los potenciales naturales para la protección de los paisajes de humedal, con el cual se logró hacer un cartograma y representar su espacialidad.

Potenciales naturales de conservación de ecosistemas de humedales en el municipio de Bacalar, Quintana Roo



Tipos de gestión y regimen de utilización de los paisajes de humedal		
Simbolo	Política	Definición
	Aprovechamiento	CTN con coberturas de selva, pastos y agricultura. Se encuentran pendientes que van 10° hasta menores a 1°. Los suelos predominantes son Leptosol, Phaeozem, vertisol y Gleyzol. Estos geosistemas cuentan con IACV que de medio a alto. Cuentan con Riqueza y Hm Media y una Singularidad de Baja a Media.
	Conservación/ protección	CTN con coberturas de Selvas, pastizal, agricultura, manglar, tular y vegetación de dunas costeras. Con pendientes desde 3° a <1°. Con la Leptosol, Gleyzol, Phaeozem, Vertisol, Luvisol, regosol y arenosol. Aquí la presencia del IACV tiene valores contrastantes desde Muy Bajo hasta Alto. Los indicadores de heterogeneidad R y Hmax aquí tienen predominante en la categoría Baja, para el caso de Singularidad cateóglas de Alta, Medio y Muy Bajo.
	Restauración	Geocomplejo con selva, pastos y agricultura, sobre pendientes de 10° a <1°. En presencia de suelos Leptosol, Phaeozem, Gleyzol y Vertisol. Las categorías del IACV van de Alto a Muy Alto, la heterogeneidad geocatóglas para R y Hmax en Alta, Media y Baja. Singularidad recae en Muy Alto, Baja y Muy Bajo.

Localización	
Parámetros cartográficos/ Cartographic parameters Proyección / Projection: UTM Datum: WGS84 Elipsoide / Ellipsoid: WGS84 Escala / Scale: 1:250,000	

Simbología convencional		Symbols	
Poblaciones			
Con más de 3,000 habitantes	Bacalar	Over 3,000 population	Bacalar
De 2,001 a 3,000 habitantes	Limones	2,001 to 3,000 population	Limones
De 1,001 a 2,000 habitantes	Los Divorcados	1,001 to 2,000 population	Los Divorcados
Con menos de 1,000 habitantes	Retona	Less than 1,000 population	Retona
Zonas urbanas		Urban areas	
Localidad rural		Rural town	
Vías terrestres			
Carretera pavimentada (Cuatro carriles)		Paved road (four lane)	
Carretera pavimentada (Dos carriles)		Paved road (two lane)	
Carretera pavimentada (Un carril)		Paved road (One lane)	
Terracería		Dirt road	
Rasgos hidrográficos			
Corriente permanente		Perennial current	
Corriente intermitente		Intermittent current	
Cuerpo de agua		Water bodies	

Figura 13: Potenciales naturales de conservación de ecosistemas de humedal
 Fuente: Elaboración propia

4.4 Conclusiones

Con toda la información anterior, se realizó la propuesta donde se estudia de manera integral la protección de los paisajes de humedal, sin embargo; los alcances de esta investigación son suficientes para utilizarse como insumo básico en el ordenamiento territorial y aún más como política ambiental en busca de un mejor escenario estratégico. La propuesta de ordenamiento ambiental fue hecha utilizando el enfoque geoecológico, donde se prioriza las actividades de conservación para garantizar un uso sostenible de los paisajes del municipio.

Adicionalmente, toma carácter de prioridad el manejo adecuado de los cuerpos de agua, mismos que actualmente se deterioran por incidencia de las actividades productivas y de los asentamientos humanos, cuyo crecimiento no controlado está afectando las áreas selváticas del entorno, situación que se agrava por las carencias de infraestructura en las áreas de expansión, poniendo en riesgo de contaminación los mantos freáticos y aún el sistema lagunar a causa del aporte de aguas residuales no tratadas (CONANP, 2016).

Bacalar se encuentra con pocos documentos normativos de la totalidad de su territorio, sin embargo, se encuentra en el ámbito de aplicación del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (DOF 24/11/2012). El Programa impone condiciones para el desarrollo urbano, de tal manera que éste contemple las variables ecológicas y es el instrumento idóneo para el desarrollo e impulso al turismo y en general a las actividades económicas del Municipio. De no tomar medidas el deterioro ambiental se acentuará, propiciando no sólo la pérdida de las especies nativas, tanto de flora como de fauna, mismas que por sus características dan valor a la oferta turística, sino también porque los procesos de deforestación y erosión le quitarán al territorio su valor productivo.

4.5 Referencias del capítulo

Alfonso, A., Rodríguez, J., Cabrera, J. & Sánchez, R. (2015). El enfoque de paisajes en la clasificación de humedales. Caso de estudio provincia de Matanzas, Cuba. *Verbum*, 10(10), 79-93.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2021). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Datos vectoriales de los humedales en escala 1:250 000 recuperado de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/> mayo 2022.

Contreras, M., y De la Fuente, A. (2006). Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. SAG, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.

Environmental System Research Institute (ESRI) (2021). Manual en línea recuperado el 2 de octubre del 2022 de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm#GUID-BF7FF5E5-302F-4DC4-9108-7C91795B5427>.

Ginzburg, R., Adámoli, J., Herrera, P., & Torrella, S. (2005). Los Humedales del Chaco: clasificación, inventario y mapeo a escala regional. *Miscelánea*, 14, 121-138.

González, P. A. Humedales: Régimen Jurídico, Urbanización Y Protección. (2011) CNJUR EDICIONES ®

Herrera-Valencia, O. J., Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, A. G., Hernández Aguilar, M. L (2022). Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México. Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA), UNAM. Marco atípico, edición digital, escala 1:250 000, Universidad Nacional Autónoma de México, campus Morelia, Michoacán.

Ley de Aguas Nacionales (LAN) 01-12-1992 (última reforma 06-01-2020).

López, J., Vásquez Reyes, V. M., Gómez Aguilar, L., & Priego Santander, A. G. (2010). Humedales.

Millennium Ecosystem Assessment, (2005). Ecosystems And Human Well-Being: Wetlands And Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

Mitsch, W., y Gosselink, J. (2000). The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, 35(1), 25-33.

Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (2012)

Ramsar, C. (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Ramsar, 2.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). *NOM-022-SEMARNAT-2003: Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Sochava, V. B. (1978) *Introdução à doutrina dos Geossistemas (ВВЕДЕНИЕ В УЧЕНИЕ О ГЕОСИСТЕМАХ)*, Editorial Nauka, Filial de Siberia, Novosibirsk, 1978, 318 pp. Traduções realizadas por: José M. Mateo Rodriguez (Universidad de La Habana), Edson Vicente da Silva (Universidade Federal do Ceará), Raul Sanchez Viencens (Universidade Federal Fluminense).

Discusión y conclusiones finales

En este apartado se presentan los resultados, para lo cual se repasan brevemente los objetivos de la investigación, esto para contextualizar la discusión y conectar los hallazgos con la base teórica, antecedentes y las aportaciones hechas a la línea de investigación. También se mencionan las fortalezas y limitaciones de los métodos implementados, así como la validez y la confiabilidad de los datos.

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, esta tesis se desarrolló la Evaluación del paisaje físico-geográfico para la conservación de humedales en el municipio de Bacalar Quintana Roo, evaluación que fue necesaria para llenar el vacío de conocimiento del territorio, ya que se precisaba dar un valor o ponderación del estado de los humedales para conocer su potencial natural de la conservación o gestión según sus atributos.

Así mismo se ha mencionado que se utilizó el marco teórico-metodológico de la Geoecología del paisaje donde se conjuga el enfoque paisajístico (diferenciación espacial de los complejos naturales en la superficie terrestre) y el enfoque ecológico (interrelaciones funcionales de los fenómenos naturales como sistemas ecológicos).

Se comprobó que, gracias a las características metodológicas de la geoecología del paisaje, donde se integran un gran número de variables y comprende la interacción de factores naturales y antrópicos basados en la Teoría General de Sistemas aplicados a la geografía, permitió entender el paisaje como un sistema y sus complejas interacciones, tal como lo expresa Llanes (2011), así mismo estas bases dan pie a entender al paisaje como un geosistema tal como lo propone Sochava (1978), lo cual demostró que esto permite caracterizar la composición, estructura, dinámica, funcionalidad y evolución del paisaje; es decir los atributos de los geocomplejos, dando una delimitación espacial representada detalladamente en las unidades tipológicas del mapa de **paisaje físico-geográfico** del municipio de Bacalar a escala 1:250 000.

Esta investigación, al igual que las de Espinoza (2013), Flores (2016), Machuca (2011), y Martínez (2017), demostraron que el utilizar el mapa de paisaje como unidad de análisis, es una herramienta de gran alcance para desarrollar investigación con un gran número de temáticas, ya sea potenciales naturales, servicios ambientales, ordenamientos territoriales entre otros.

Otro resultado importante del trabajo fue el cálculo de la transformación del paisaje, por medio del **índice de Antropización de la Cobertura Vegetal**, donde se observó la variación significativa en las diferentes áreas del municipio, esta variabilidad está sujeta a las actividades antrópicas desarrolladas en las distintas unidades de paisaje. Esta categorización permitió identificar que estas tasas de cambio de la cobertura vegetal son generadas principalmente por la expansión agrícola y el turismo, por lo cual es de vital importancia estudiar más a fondo, dejando la posibilidad de desarrollar una investigación futura a partir de este punto.

Como se puede observar en el primer resultado, se dio la estructura y función de las unidades tipológicas que componen el paisaje del municipio de Bacalar, ahora bien, la **heterogeneidad geocológica** nos sirve explicar cómo funciona el paisaje, la interrelación que tiene entre los elementos al interior de los geocomplejos, como la interrelación que mantiene con los geocomplejos vecinos. La eficacia de este método se pone de manifiesto en las investigaciones Ganzei & Ivanov (2012); Štefunková (*et al*, 2015) donde logran demostrar que por medio del cálculo de la heterogeneidad se alcanza un conocimiento profundo del funcionamiento del territorio, lo que posteriormente permite conocer las consecuencias de alterar algunas de las partes que componen al paisaje, las mejores zonas de preservación y conservación; así como las superficies de aprovechamiento.

Con los resultados de esta tesis se demuestra de manera empírica que la importancia de los **paisajes de humedal** destaca por la alta biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrecen. Otro punto que destacar de este resultado es la eficacia metodológica para la identificación, clasificación y manejo de estos ecosistemas, resaltando una vez más el enfoque holístico de la geocología. También se obtuvo un esquema en donde se define de manera general las

actividades económicas compatibles con la conservación, restauración y uso sostenible de los recursos naturales, asegurando la protección de los humedales y sus valiosos servicios ecosistémicos.

Este estudio, además de proporcionar una herramienta valiosa para los planificadores y gestores del territorio, destaca la necesidad de políticas de gestión desarrolladas a partir de la ciencia, garantizando la conservación de los paisajes naturales frente a la presión del desarrollo y la influencia del cambio climático. Para que las estrategias de conservación sean efectivas, se deberá tener una colaboración estrecha entre el gobierno, academia y la comunidad.

Esta tesis deja abierta la posibilidad de ser la base de un sinnúmero de líneas de investigación futuras, entre las que se pueden destacar, con base a este inventario de paisajes de humedal: el cambio en el régimen de precipitaciones, la resiliencia de estos humedales frente a los fenómenos naturales, la transformación del paisaje por introducción de infraestructura, el cambio climático entre otras.

Referencias generales

Acosta Villegas, M. A. (2008). Evaluación del potencial ecoturístico de un sector de la región Sierra-Costa de Michoacán. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

Aguilar, M. y Contreras, C. (2009). *La geografía ambiental. Orígenes, ámbito de estudio y alcances*. En Chávez, M., González, O. y Ventura, M. (Eds.). *Geografía Humana y Ciencias Sociales. Una relación reexaminada* (261-296). Zamora, Michoacán, México: El Colegio de Michoacán.

Aguirre, A. López, L., Bolaños, F., González, D. y Buitrago, O. (2017). Percepción del paisaje, agua y ecosistemas en la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 109-126. doi: 10.19053/01233769.5402.

Alfonso, A., Rodríguez, J., Cabrera, J. & Sánchez, R. (2015). El enfoque de paisajes en la clasificación de humedales. Caso de estudio provincia de Matanzas, Cuba. *Verbum*, 10(10), 79-93.

Almeida, I., Martín, G., & Cárdenas, O. (2016). Uso ambientalmente recomendado de las unidades de paisaje para las actividades agropecuarias y forestales en el municipio Los Palacios, Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 17(1), 45-55.

Arceo, S. y Salinas, E. (1994). Evaluación del potencial natural de los paisajes para la actividad agropecuaria en el ejemplo del municipio de Yaguajay (provincia Sancti-Spiritus, Cuba). *Geographicalia*, (31), 3-16.

Bastian, O., Haase, D., y Grunewald, K. (2012). Ecosystem properties, potentials and services—The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological indicators*, 21, 7-16.

Batún, A. (2018). Cambios de cobertura y uso de suelo en Quintana Roo, México: acciones estratégicas para la conservación forestal. Tesis de maestría, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.

Berg, L. (1915) Ensayo de la división de Siberia y Turkestan en regiones paisajísticas y morfológicas. In Homenaje al 70 aniversario de D. N. Anuchin (Opit razdelenia Sibiri i Turkestana na landshaftnie i morfologuicheskie oblasti. In Sbornik v chest' 70-letia D.N. Anuchina), Moscú: SASNAE, 1913, p. 117-138.

Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., y de la Lanza Espino, G. (2008). *Esquema de clasificación de los humedales de México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, (66), 25-46.

Bocco, G., Priego, A., y Burgos, A. (2010). La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial: Una revisión de la bibliografía.

Bolaños, B., 2002, Argumentación científica y objetividad, en Colección de Posgrado, Posgrado en Filosofía de la Ciencia, Facultad de Filosofía y Letras, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F, 17-117p

Bollo Manent, M., y Hernández Santana, J. R. (2008). Paisajes físico-geográficos del noroeste del estado de Chiapas, México. Investigaciones geográficas, (66), 7-24.

Bollo, M., Hernández J. y Méndez, A. (2010). Evaluación de potencialidades naturales en el ordenamiento ecológico territorial: Noroeste del estado de Chiapas, México. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (53).

Bollo, M., Montaña, R., y Hernández, J. R. (2017). Situación ambiental de la Cuenca del Río Santiago-Guadalajara. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial.

Bolós, M. D., (1992), Manual de ciencia del paisaje: Teoría, métodos y aplicaciones, Ed. Masson. Barcelona, España.

Bravo, S., 1997, "La ciencia su método y su historia", Cuadernos del Instituto de Geofísica, UNAM, México, D.F.

Brena Zepeda, J., Castillo Romano, C., y Wagner Gómez, A. (2016). Metodología para la delimitación y caracterización de humedales en escalas 1: 50 000 y 1: 20 000.

Busquets, J., y Cortina, A. (2009). Gestión del paisaje. Manual de protección, gestión y ordenación del paisaje. Barcelona, Editorial Ariel.

Carcavilla, L., Durán, J. J., y López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. Geo-Temas, 10(2008), 1299-1303.

Chávez, M. y Prunés E. (2018). Bases biofísicas para el Ordenamiento Ecológico de los 12 municipios de influencia de Proyecto Tarahumara Sustentable (informe final). México.

Consejo de Europa (2000): Convenio Europeo del Paisaje. Congreso de Poderes Locales y Regionales de Europa. Florencia, Italia.

Crofts, R. S. (1975). The landscape component approach to landscape evaluation. Transactions of the institute of British Geographers, 124-129.

Cruz-Paz, G., Castillo, M., Espinoza-Tenorio, A., Bravo-Peña, L., Valencia-Barrera, E., y Mesa-Jurado, M. (2018). Áreas prioritarias de conservación en la cuenca Usumacinta. La aplicación de un enfoque multicriterio. *Investigaciones geográficas*, (97), 00004. <https://doi.org/10.14350/rig.59482>.

Csorba, P., y Szabó, S. (2009). Degree of human transformation of landscapes: a case study from Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 58(2), 91-99.

Delgado, L. 2018. Heterogeneidad del paisaje y diversidad de especies arbóreas en un bosque tropical. Desarrollo y validación de una propuesta metodológica. *Ecosistemas* 27(1): 105-115. Doi.: 10.7818/ECOS.1475.

Domínguez González, A. (2004). Análisis y Diagnóstico Geológico de los paisajes, en la Provincia de Sancti Spíritus (Doctoral dissertation, Universidad de La Habana).

Encina A. y Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y desarrollo*, (25), 5-10.

Espinoza, M. A. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Esteban Nieto, N. (2018). Tipos de investigación. Repositorio institucional – USDG.

Fernández, R. (2013). Metodología para la caracterización y diferenciación de las unidades de paisaje de un espacio de montaña: las sierras de Béjar y Candelario. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (62), 101-127.

Figueroa, J. R. (2005). Valoración de la biodiversidad: Perspectiva de la economía ambiental y la economía ecológica. *Interciencia*, 30(2), 103-107.

Flores Á. y Priego-Santander Á. (2011). Zonificación funcional ecoturística de la zona costera de Michoacán, México a escala 1: 250 000. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47E).

Flores, D. (2016). Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los paisajes agrícolas del estado de Puebla, México. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

Foley, A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., y Helkowski, J. H. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.

Fragoso-Servón, P., Pereira, A., Frausto, O., y Bautista, F. (2014). Relación entre la geodiversidad de Quintana Roo y su biodiversidad. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 16(1),97-125. ISSN: 1405-8626.

Frolova, M. (2001). Los orígenes de la ciencia del paisaje en la geografía rusa. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 5.

Frolova, M. (2006). Desde el concepto de paisaje a la Teoría de geosistema en la Geografía rusa: ¿hacia una aproximación geográfica global del medio ambiente? *Ería*, (70), 225-235.

Gómez, J., Jiménez, J., Cantero y Ortega, N. (1982). *El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos:(de Humboldt a las tendencias radicales)* (Vol. 45). Alianza.

Guevara Sanginés, A. E. (2005). Política ambiental en México: Génesis, desarrollo y perspectivas.

Hasse, G. (1986): Theoretical and methodological foundations of landscape ecology. In: Landscape Ecology. Abstract of Lecture. International Training Course. Institute of Geography and Geoecology, GDR Academy of Science, Leipzig, pp: 4 – 7.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la Ciudad de México: Mc Graw Hill, 12, 20.

Hernández-Santana, J. R., Bollo-Manet, M., Méndez-Linares, A. P., y López-Miguel, C. (2013). Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) de México: una primera aproximación en el sexenio 2006-2012. La política de Ordenamiento Territorial en México: de la teoría a la práctica, 343-379.

Hernández-Santana, J., Bollo-Manet M., y Méndez-Linares, A. (2012). Ordenamiento ecológico general del territorio mexicano: enfoque metodológico y principales experiencias. *boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63), 33-56.

Hill, M., Roy, D., y Thompson, K. (2002). Hemeroby, urbanity and ruderality: bioindicators of disturbance and human impact. *Journal of Applied Ecology*, 39(5), 708-720.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. México.

Juanes-Fuertes, J. V. (2014). Los procesos históricos) como factores modificadores de los paisajes antiguos: el caso de la Sonsierra Riojano-Alavesa. Cuadernos de arqueología. Universidad de Navarra.

Kutchartt-Ruedlinger, E. H. (2013). Clasificación de áreas potenciales para reforestación en la serranía del Uchumachi, región Nor Yungas, departamento de La Paz, Bolivia (Tesis de Licenciatura). Universidad Austral de Chile).

Loening, L. J., y Markussen, M. (2003). Pobreza, deforestación y pérdida de la biodiversidad en Guatemala (No. 91). IAI Discussion Papers.

Machuca, W. (2011). Evaluación del potencial natural para la prestación de Servicios ambientales hídricos en Cerro Grande, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. Universidad Nacional Autónoma de México.

Marino, B., Alvarado, M., Cabral, I., y Guzmán, M. (2017). Índice de Hemerobia para la evaluación de la conservación del bosque de pino-encino en una microcuenca. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(44), 55-88.

Martínez, A. (2017). Diagnóstico geoecológico de la zona metropolitana de Morelia. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Autónoma de México.

Martínez-Dueñas, W. (2010). INRA - Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. *Intropica*, 5(1), 37-46.

Mateo, J. (2002). Geografía de los paisajes (Primera parte Paisajes naturales) Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba. 1-145p.

Mateo, J., Da Silva, V., y Brito, A. (1994): «Análise da paisage como base para estrategia de Organizacao Geoambiental: Corumbatai cspl Colectario 004 Planeamiento Ambiental». Universidad de Sao Paulo, pp. 57-105.

Mateo, J., y Da Silva V., (2008). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA*, 1(1).

Morales, H., Priego, Á. y Bollo, M. (2017). Los Paisajes Físico-Geográficos del estado de Chiapas, México a escala 1: 250 000. *Terra Digitalis*, 1(1).

Morales, H., Priego-Santander, Á., Bollo, M., y Ríos, M. (2019). La antropización de la cobertura vegetal en los paisajes del estado de Chiapas, México. *Papeles de Geografía*, (65), 139-154.

ONU 2015: "Resolución A/RES/70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible". Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Consultada el 22 de abril de 2022. [edición electrónica] <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>.

Pablo Pablo, M. A., y Hernández Santana, J. R. (2016). Evaluación de la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos en la cuenca del río Grande, Oaxaca, México. *Investigaciones geográficas*, (91), 7-24.

Plaza-Ortega, V., Valencia-Rojas, M. P., y Figueroa-Casas, A. (2017). Aplicación del índice integrado relativo de antropización (INRA), en un ecosistema de alta montaña. *Revista Luna Azul*, (44), 80-93.

Priego Santander, A. G., Isunza Vera, E., y Troche Souza, C. H. (2018). Bases biofísicas para el ordenamiento ecológico de los 12 municipios de influencia del Proyecto Tarahumara Sustentable. WWF México.

Priego, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N., y Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38.

Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región de Laguna De Bacalar, Quintana Roo, 2005.

Quintana, R. D. (2018). Humedales, biodiversidad y servicios ecosistémicos. ¿Hacia dónde vamos?

Ramírez-Sánchez L. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México, Michoacán, México.

Ramírez-Sánchez, L. G., Priego-Santander, A. G., Bollo, M. y Castelo-Agüero, D. C. (2016). Potencial para la conservación de la geodiversidad de los paisajes del Estado de Michoacán, México. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 321-344. doi: 10.19053/01233769.5856. *Revista Investigación Científica y Tecnológica*. Vol. 14 N°2 p 49-77.

Rivera-Pabón, J. & Senna, D. (2017). Análisis de unidades de paisaje y evaluación de impacto ambiental como herramientas para la gestión ambiental municipal. Caso de aplicación: municipio de tona, España. *Luna Azul* ISSN 1909-2474 No. 45.

Romero, P., Lázaro, C., y González J. (2009). Estadística descriptiva e inferencial. *Revista el auge de la estadística en el siglo XX*, 22, 165-176.

Salinas Chávez, E., Mirandola García, P. H., De Souza, M. H., y Garcia Netto, L. D. R. (2019). El estudio de los paisajes como fundamento para la evaluación del potencial turístico del municipio Paranaíba, Ms, Brasil. *Gran Tour: Revista de Investigaciones Turísticas* n° 19 Enero-Junio de 2019 pp.79-102 ISSN: 2172-8690 Facultad de Turismo. Universidad de Murcia.

Shishenko, P.G. 1988. Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. *Geografía Física Aplicada*. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania.

Steinhardt, U., Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., & Lehmann, S. (1999). Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. *Environmental Indices, system analysis approach*, 237-254. <https://doi.org/10.1007/s002670010136>.

Takeuchi, K. (1983). Landscape planning methodology based on geocological land evaluation. *GeoJournal*, 7(2), 167-183. Springer.
<http://www.jstor.org/stable/41143032>

Tellería, J. L. (2013). Pérdida de biodiversidad. Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 10, 13-25.

Tesser Obregón, C. E. E. (2000). Algunas reflexiones sobre los significados del paisaje para la geografía. *Revista de Geografía Norte Grande*, 27: 19-26.

Travieso-Bello, A.C., Priego-Santander A. G y Moreno-Casasola P. (2009): Potencial natural del territorio: base para el ordenamiento de la ganadería bovina. *Memorias del V Congreso Internacional de Ordenamiento Ecológico y Territorial*, Morelia, Michoacán, 24 al 28 de noviembre de 2009. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental e Instituto de Geografía, UNAM. CD s/p., No. ISBN en trámite.

Troche, C., Priego-Santander, A. G., Bollo Manet, M., Ressler, R., (2018). Paisajes físico- geográficos de humedales costeros continentales en dos áreas naturales protegidas del Golfo de México. *Terra Digitalis* 2(1), 1-6, doi: 10.22201/igg.terradigitalis.2018.1.41.92.

Troll, W. (1938). Morphologie einschließlich Anatomie. In *Fortschritte der Botanik* (pp. 17-31). Springer, Berlin, Heidelberg.

United Nations Environment Programme. (2013). *Proposed medium-term strategy for the period 2014–2017: Report of the Executive Director* (UNEP/GC.27/9/Add.1). United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org>

Unstead, J. F. (1931). *The Regional Geography of Siegfried Passarge*.

Vallés, M.; Galiana, F. y Bru, R. (2012): "Towards Harmonisation in Landscape Unit Delineation: An Analysis of Spanish Case Studies", *Landscape Research*, pp. 1-18.

Vásquez-Contreras, D. (2013). *Metodología para la delimitación y zonificación de humedales costeros de tipo mediterráneo*. *Revista Geográfica del Sur*, 4(6), 13-32.

Villegas, E., Cifuentes G., A., Contreras G., D., y Fernández A., L. (2015). Ordenamiento territorial como instrumento para la zonificación ambiental a través de la estructura ecológica principal, como apoyo a la formulación de los POTsm y los POMCAS en Colombia. *Revista de Tecnología*, 14(2), 49-76

Walz, U., y Stein, C. (2014). Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*, 22(3), 279-289.

Zonneveld, I. (1989): "The land unit. A fundamental concept in landscape ecology, and its applications", *Landscape Ecology*, 3, 2, pp. 67-86.


Anexos

PAISAJES FÍSICO-GEOGRÁFICOS DEL MUNICIPIO DE BACALAR, QUINTANA ROO, MÉXICO

A ESCALA 1:250 000

LEYENDA

A- Lomerios y planicies en clima cálido.

 I- Lomerios tectónico-carsificados, ligera a fuertemente diseccionados ($40 < DV < 100 \text{ m/km}^2$), formados por caliza-dolomitas, caliza-coquina y caliza-yeso, en clima cálido subhúmedo.

I.1- Complejo de cumbres, laderas y barrancos, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem y Vertisol.


1- Ligera a medianamente inclinados (5° - 10°), con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol rëndzico.

2- Ligeramente inclinados (3° - 5°), con selva mediana subperennifolia primaria, secundaria arbustiva y arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol rëndzico, Phaeozem endoléptico y Vertisol húmico.

I.2- Complejo de superficies y cauces, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.

3- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°), con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y pastos cultivados sobre Leptosol rëndzico, Phaeozem endoléptico y Vertisol gleyico.

4- Superficies planas ($< 1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea y selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea sobre Leptosol rëndzico, Gleysol vértico, Luvisol endoléptico y Gleysol vértico.

 II- Planicies tectónico-carsificadas acolinadas ligera a fuertemente diseccionadas ($15 < DV < 40 \text{ m/km}^2$), formadas por calizas, caliza-dolomita, caliza-marga, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

II.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva, pastos y agricultura sobre Leptosol, Phaeozem y Vertisol.

5- Superficies ligera a medianamente inclinadas (5° - 10°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea sobre Phaeozem húmico.

6- Superficies ligeramente inclinadas (3° - 5°) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja espinosa

PAISAJES BACALAR | Leyenda

subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Phaeozem epiéptico y Vertisol húmico y pélico.

- 7- Superficies muy ligeramente inclinadas (1° - 3°), con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbórea, arbustiva y herbácea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, pastos cultivados y cultivos sobre Leptosol réndzico, Luvisol endoléptico y Phaeozem húmico.
- 8- Superficies planas ($<1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, pastos cultivados y cultivos sobre Luvisol endoléptico, Leptosol réndzico y Vertisol húmico.

III- Planicies fluvio-acumulativas acolinadas ligera a fuertemente diseccionadas ($15 < DV < 40$ m/km²), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

III.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, pastos y agricultura sobre Leptosol, Vertisol y Gleysol.

- 9- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva y pastos cultivados sobre Leptosol réndzico, Vertisol gléyico y Gleysol vértico.
- 10- Plano ($<1^{\circ}$), con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva y pastos cultivados sobre Vertisol pélico y húmico, Leptosol réndzico y Gleysol vértico.

IV- Planicies tectónico-carsificadas onduladas ligera a fuertemente diseccionadas ($2.5 < DV < 15$ m/km²), formadas por calizas, arenisca-caliza, caliza-dolomita, caliza-marga, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

IV.1- Complejo de colinas residuales, superficies y cauces, con selva, pasto y agricultura sobre Leptosol, Gleysol, Phaeozem, Vertisol y Luvisol.

- 11- Superficies muy ligeramente inclinadas (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva, pastizal cultivado y cultivos sobre Leptosol réndzico, Gleysol vértico y Phaeozem endoléptico.
- 12- Superficies planas ($<1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja caducifolia secundaria arbórea, manglar, tular, cultivos y pastizal cultivado sobre Vertisol húmico, Leptosol

réndzico y Luvisol endoléptico.

V- Planicies fluvio-acumulativas onduladas ligera a fuertemente diseccionadas ($2.5 < DV < 15 \text{ m/km}^2$), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

V.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, agricultura y pastos sobre Vertisol, Leptosol, Gleysol y Phaeozem.

13- Muy ligeramente inclinados (1° - 3°) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y pastos cultivados sobre Vertisol húmico y gléyico y Leptosol réndzico.

14- Superficies planas ($< 1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea, cultivos y pastos cultivados sobre Vertisol pélico y gléyico, Gleysol vértico y Phaeozem húmico.

VI- Planicies lacuno-acumulativas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por depósitos lacustres, en clima cálido subhúmedo.

VI.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva y agricultura Gleysol sobre Vertisol y Leptosol.

15- Superficies planas ($< 1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, sabana y cultivos sobre Gleysol vértico, Vertisol gléyico y Leptosol réndzico.

VII- Planicies tectónico-acumulativas carsificadas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por arenisca-caliza, caliza, caliza-yeso y caliza-coquina, en clima cálido subhúmedo.

VII.1- Complejo de colinas, superficies y cauces, con selva, manglar, tular, agricultura y pastizal sobre Leptosol, Regosol, Gleysol y Arenosol.

16- Superficies planas ($< 1^{\circ}$) con selva mediana subperennifolia primaria y secundaria arbustiva y arbórea, selva baja espinosa subperennifolia primaria y secundaria arbórea y arbustiva, selva baja subperennifolia primaria y secundaria arbórea, selva baja cadudifolia secundaria arbórea, manglar, tular, vegetación de peten, cultivos y pastizal cultivado sobre Leptosol réndzico, Regosol sódico, Gleysol húmico y Arenosol sódico.

VIII- Planicies fluvio-acumulativas subhorizontales ($DV < 2.5 \text{ m/km}^2$), formadas por depósitos aluviales poligenéticos, en clima cálido subhúmedo.

VIII.1- Complejo de vegas y cauces, con selva, agricultura y pastizal sobre Gleysol, Vertisol y Leptosol.

17- Superficies planas (<1") con selva mediana subperennifolia secundaria arbórea, selva baja espinosa subperennifolia secundaria arbórea y arbustiva, cultivos y pastizal cultivado sobre Gleysol vértico, Vertisol endogleyico y Leptosol réndzico.

IX-Planicies acumulativas marino-eólicas subhorizontales ($DV < 2.5$ m/km²), formadas por depósitos marinos, en clima cálido subhúmedo.

IX.1- Complejo de crestas, superficies y cauces, con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol.

18- Superficies planas (<1") con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol cálcico y sódico.

PAISAJES FÍSICO-GEOGRÁFICOS DEL MUNICIPIO DE BACALAR, QUINTANA ROO, MÉXICO A ESCALA 1:250 000

METADATOS

DATOS GENERALES DEL MAPA

NOMBRE DEL MAPA: Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

CITA DE LA INFORMACIÓN: Herrera-Valencia, O. J.¹, Ramírez-Sánchez, L. G.², Priego-Santander, A. G.³, Hernández Aguilar, M. L.⁴ (2021). Paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar, Quintana Roo, México. Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA), UNAM. Marco atípico, edición digital, escala 1:250 000, Universidad Nacional Autónoma de México, campus Morelia, Michoacán.

1. Universidad Autónoma de Quintana Roo (UQROO)
2. El Colegio Mexiquense. Cátedras CONACYT.
3. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM)
4. Autor para correspondencia: apriego@ciga.unam.mx

RESUMEN: El mapa presenta la caracterización y distribución espacial de los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar a escala 1:250 000. Con la integración de los componentes de paisaje se lograron delimitar 9 unidades superiores (localidades), 10 intermedias (paraje complejo) y 18 inferiores (paraje simple). Las geoformas presentes van desde lomeríos de ligera a fuertemente disecionados hasta planicies sub-horizontales.

OBJETIVO: Caracterizar los paisajes físico-geográficos del municipio de Bacalar a escala 1:250 000, utilizando los preceptos teóricos metodológicos de la geografía física compleja.

Datos complementarios.

Tiempo comprendido: un año, desde el inicio del proyecto hasta la edición final del mapa (2020-2021).

Nivel de avance: Completo.

Mantenimiento: Cinco años a partir de la publicación del mapa.

Tamaño: 309 MB

UBICACIÓN DEL PROYECTO

ÁREA GEOGRÁFICA: Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.

SUPERFICIE: 5,975.55 km²

ALTITUD: desde 0 hasta 191 m s. n. m.

COORDENADAS EXTREMAS PROYECTADAS

OESTE: 273652.459400 m // 87° 8' 54"

ESTE: 442213.621900 m // 87° 32' 57"

NORTE: 2127294.476600 m // 19° 37' 51"

SUR: 2060222.769700 m // 18° 37' 30"

RESTRICCIONES

ACCESO: Sin restricción a partir de la versión final en pdf. Para obtener el SIG, dirigir petición a la Dirección del CIGA, UNAM, Campus Morelia (www.ciga.unam.mx). La UNAM solo exige la cita de los créditos para los autores.

USO: Sin restricción a partir de la versión final en pdf. Para obtener el SIG, dirigir petición a la Dirección del CIGA, UNAM, Campus Morelia (www.ciga.unam.mx). La UNAM solo exige la cita de los créditos para los autores.

AMBIENTE DE TRABAJO

SOFTWARE Y HARDWARE: ARC-GIS 10.4.1.

SISTEMA OPERATIVO: Windows 10.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS: Sistema de información geográfica, por ejemplo, ARC-GIS.

CALIDAD DE LOS DATOS

METODOLOGÍA: Gabinete y campo.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA:

Para la obtención de este mapa, se utilizaron los siguientes insumos cartográficos:

1. Conjunto de datos vectoriales de información topográfica de Bacalar a escala 1:250 000, serie VI, año 2019 (INEGI, 2019).
2. Mapa de disección vertical del relieve a escala 1:250 000, elaborado por los

- autores, según los criterios de Priego-Santander et al. (2010).
3. Continuo Nacional del Conjunto de datos Geográficos de las cartas de Climas, unidades climáticas, precipitación media anual y temperatura media anual 1: 1 000 000, Serie I. México. (INEGI, 2008).
 4. Continuo Nacional de Geología de la República Mexicana de los años 1995 y 2005, Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2005).
 5. Conjunto de datos vectoriales sobre la información edafológica de México a escala 1:250 000 (INEGI, 2013).
 6. Conjunto de datos vectoriales de información sobre uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie IV (INEGI, 2016).

Para la generación de este producto cartográfico se retomaron los preceptos teóricos-metodológicos de la geografía física compleja, mediante la generación semiautomatizada de unidades de paisajes propuesta por Priego-Santander et al. (2010), en la cual se distinguen tres etapas:

- *Elaboración de la hipótesis cartográfica*

La información cartográfica recabada en la revisión bibliográfica se estandarizó en sus límites cartográficos, proyectándose en el mismo sistema de coordenadas y estableciendo su Área Mínima Cartografiable de 4x4mm (1 000 000 m²), a escala 1:250 000. Se obtuvieron entonces las hipótesis cartográficas a través de las discontinuidades morfogenéticas del relieve, que se fundamentan en la variación de la estructura vertical de los paisajes; es decir, de acuerdo con el cambio regular de la forma, génesis y morfometría del relieve, y de la asociación de los suelos con las comunidades vegetales y del uso de suelo (Priego et al., 2010). Para una mejor comprensión se detalla la secuencia de pasos realizados a continuación:

Cuadro 1: Resumen metodológico para la elaboración de las unidades del paisaje del municipio de Bacalar.

Fuente: tomado y modificado de Ramírez-Sánchez (2013).

Paso	Localidad	Paraje
I	Superposición cartográfica de disección vertical y litología	Distinción de unidades morfológicas (las partes más simples que componen a los tipos de relieve) al interior de la localidad
II	Generalización conceptual por comunidad territorial	Clasificación y generalización según morfometría

III	Generalización cartografía por índice de vecindad	Superposición de II con el mapa de vegetación y uso de suelo y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4 mm)
IV	Clasificación altitudinal	Superposición de III con el mapa de suelo y generalización cartográfica según axioma área mínima cartografiable (4x4 mm)
V	Clasificación genética	Superposición de IV con el mapa de suelo y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4 mm)
VI	Superposición de V con el mapa de tipos climáticos y generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	
VII	Superposición de VI con el mapa de tipos de vegetación y uso de suelo. Generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	
VIII	Superposición de VII con el mapa de tipos de suelos. Generalización cartográfica según axioma del área mínima cartografiable (4x4mm)	

▪ *Trabajo de campo*

Las superposiciones cartográficas, los cruces de datos y la construcción preliminar de la leyenda del mapa logran conformar la llamada "hipótesis cartográfica de las unidades de paisaje físico-geográfico"; como toda investigación cartográfica, se procedió a realizar visitas de campo con el propósito de validaciones o correcciones de posibles errores en los atributos del mapa producido; lo cual permitió correcciones mínimas de inconsistencias cartográficas. La selección de áreas de verificación se determinó bajo los siguientes criterios: posibles irregularidades en las unidades inferiores, accesibilidad, además de puntos de muestro seleccionados aleatoriamente. Para esta investigación y la escala de trabajo fueron realizados 19 puntos de verificación; de cada uno de estos puntos se tomaron datos como localidades cercanas, tipo y génesis del relieve, litología, tipos de suelo, uso de suelo o cobertura vegetal y se georreferenciaron los puntos.

▪ *Síntesis final de gabinete.*

En esta última fase, se evaluaron e integraron los resultados del trabajo de campo con la información previa de gabinete, se ejecutó la síntesis de la información, se confeccionó la leyenda final del mapa y se realizaron las

correcciones pertinentes al mapa de paisajes, para obtener la edición final de la tipología paisajística del municipio de Bacalar a escala 1:250 000.

Los siguientes trabajos se utilizaron como referentes para la edición final:

- *Paisajes físico-geográficos del Estado de Michoacán a escala 1:250 000* (Ramírez-Sánchez, 2013).
- *Paisajes físico-geográficos del Estado de Chiapas, México a escala 1:250 000* (Morales, et al., 2017).
- *Paisajes físico-geográficos de humedales costeros continentales en dos áreas naturales protegidas del Golfo de México* (Troche et al., 2018).
- *Paisajes físico-geográficos de Santa María Huatulco, Oaxaca a escala 1: 50 000* (Alfonso et al., 2021).

RESULTADOS

Con la integración de los componentes de los paisajes, a escala 1:250 000, se lograron delimitar 9 unidades superiores (localidades), 10 intermedias (parajes complejos) y 18 unidades inferiores (parajes simples).

Cuadro 2: Niveles taxonómicos del paisaje.

Fuente: tomado y modificado de Ramírez-Sánchez (2013)

Nivel Taxonómico	Índices Diagnóstico	Ejemplo
Clase	Conjunto de morfo-estructuras con tipo específico de relieve en una misma condición climática.	Lomeríos y planicies en clima cálido subhúmedo.
Localidad	Comunidad territorial de igual tipo morfogenético de relieve. Presenta homogeneidad litológica o tipo de depósitos.	Lomeríos tectónico-carsificados, ligera a fuertemente disecionados ($40 < DV < 100$ m/km ²), formados por caliza-dolomitas, caliza-coquina y caliza-yeso, en clima cálido
Paraje Complejo	Asociaciones del mismo conjunto morfológico de mesoformas del relieve. Predominio de iguales agrupamientos de suelos y similar conjunto de formaciones vegetales y tipos de suelo.	Complejo de superficies y cauces, con selva y pastos sobre Leptosol, Phaeozem, Vertisol y Gleysol.
Paraje Simple	Asociaciones del mismo conjunto morfológico de mesoformas del relieve con determinado grado de pendiente. Predominio de iguales agrupamientos de suelos y similar conjunto de formaciones vegetales y tipos de suelo.	Superficies planas (<1°) con vegetación de dunas costeras sobre Arenosol cálcico y sódico.

Nota: En el caso de México, las acepciones de paraje simple y complejo son equivalentes a los conceptos de comarca simple y compleja.

ALGUNAS PECULIARIDADES DE LOS PAISAJES DEL ÁREA DE ESTUDIO:

- ✓ Resultado de la evolución geólogo-geomorfológica en el territorio predominan las Planicies (99.89 %) y en menor medida aparecen los lomeríos (0.11 %).
- ✓ Los tipos de suelos presentes son: Leptosoles (40.50%), Vertisoles (24.83 %), Gleysoles (17.93 %), Luvisoles (7.25 %), Phaeozem (4.33 %), Regosoles (3.91 %), mientras que los Arenosoles y Solonchak cuentan con 0.60 % y 0.48 % de la superficie municipal respectivamente.
- ✓ La vegetación seminatural predomina con 71.41 %, seguida por la vegetación natural con 15.85 %, en menor medida se encuentran el pastizal con 7.91 %, la agricultura y manglares con 2.24 %.
- ✓ La poca diferencia altitudinal del municipio de Bacalar es condicionante para no tener distinción de pisos climáticos, por lo cual solo predomina un tipo de clima.
- ✓ El relieve con sus geofomas tiene la distribución de la génesis del paisaje en la superficie de Bacalar de la siguiente manera: planicies acumulativas marino-eólicas (0.066 %), lomerío tectónico-carsificados (6.70%), planicies lacuno-acumulativas (9.13%), planicie fluvio-acumulativa (12.16%), planicie tectónico-acumulativas carsificadas (17.30%) y por último la génesis con mayor presencia son las planicies tectónico-carsificadas con un 54.64%.
- ✓ Las geoestructuras presentes como lomerío y planicies, según Mateo (2008) se asocian a los parajes simples como geosistemas emisores, colectores, de tránsito y en algunos casos mixtos. Se puede deducir que esta asociación es producto de la situación dinámica y de posición de las diferentes unidades.
- ✓ De acuerdo con la clasificación propuesta por Mateo (2008), en el componente relieve se aprecia una homogeneidad relativa en el municipio de Bacalar, ya que existe un predominio de las planicies, tomando en cuenta su altura relativa y pendiente funcionan como diseminadores de la energía, la sustancia e información de los geosistemas.

REFERENCIA DE LOS DATOS

Alfonso, A., Priego-Santander, A. G. y Carrillo, E., (2021). Paisajes físico-geográficos de Santa María Huatulco, Oaxaca a escala 1: 50 000. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Marco Atípico edición digital, escala 1:50 000. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Michoacán.

Environmental System Research Institute (ESRI). (2012). Arc GIS Desktop ver. 10.4.1., USA.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1999). Continuo Nacional del conjunto de datos Geográficos de la carta Geológica 1: 1 000 000, serie I

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. (Unidades climáticas). INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes, información cartográfica y base de datos, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, serie II (Continuo Nacional). INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2016). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2019). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:250 000 Quintana Roo. Serie VI. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes. Información cartográfica y base de datos. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463776932>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2019). Marco Geoestadístico, septiembre. Datos vectoriales. INEGI, Aguascalientes, Aguascalientes, <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463776079>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo (2017) / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, 2017.

Mateo, J., y V. Da Silva, (2008). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA*, 1(1).

Morales, H., Priego-Santander, A.G., Bollo, M., (2017). Los paisajes físico-geográficos del estado de Chiapas, México a escala 1:250 000. *Terra Digitalis* 1(1), 1–7, doi:10.22201/igg.terradigitalis.2017.1.8.71.

Priego-Santander, AG., G. Bocco, M. Mendoza y A. Garrido (2010): Propuesta para la generación de unidades de paisajes de manera semi-automatizada. Fundamentos y método. Serie Planeación Territorial. Editoriales: SEMARNAT-INE-CIGA. México, D.F.

Ramírez-Sánchez, L. G., Priego Santander, A. G y M. Bollo Manent (2012): Paisajes Físico Geográficos del estado de Michoacán. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Marco atípico, edición digital, escala 1:250 000. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Michoacán. *Terra Digitalis*
DOI: <https://doi.org/10.22201/ciga.9786070238383e.2012>

Servicio Geológico Mexicano (SGM), (2005). Continuo Nacional de Geología Nacional de Geología de la República Mexicana de los años 1995 y 2005 con datos geológicos generados corresponden a la serie en formato digital de los años 1995 y 2005 realizados por el SGM y 26 de ellos en convenio INEGI-SGM. Disponibles en: https://datos.gob.mx/busca/dataset/cartografia-geologica-de-la-republica-mexicana-escala-1-250000/resource/92f365e0-e466-4723-9b82-268f92ebb45d?inner_span=True

Troche, C., Priego-Santander, A. G., Bollo Manet, M., Ressler, R., (2018). Paisajes físico-geográficos de humedales costeros continentales en dos áreas naturales protegidas del Golfo de México. *Terra Digitalis* 2(1), 1-6, doi: 10.22201/igg.terradigitalis.2018.1.41.92.

INFORMACIÓN DE LOS DATOS ESPACIALES

ESTRUCTURA DEL DATO: Vector
TIPO DEL DATO: Polígonos
NÚMERO TOTAL DE DATOS: 447

PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA

SISTEMA DE COORDENADAS: Planas y geográficas.
NOMBRE DE LA PROYECCIÓN: Universal Transversa de Mercator (UTM).

PARÁMETROS DE LA PROYECCIÓN

FACTOR DE ESCALA: 0.99960000
LATITUD DE ORIGEN: 0.0000000
MERIDIANO CENTRAL: -87
FALSO ESTE EN METROS: 500 000
FALSO NORTE EN METROS: 0

INFORMACIÓN GEODÉSICA

NOMBRE DEL ELIPSOIDE: WGS 1984

ATRIBUTOS DEL MAPA

NOMBRE DE ENTIDAD (TABLA):
DESCRIPCIÓN DE LA ENTIDAD: Metadato de paisajes

NOMBRE DEL ATRIBUTO: **ÁREA**.
DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Muestra el área del polígono
TIPO DE DATO: Numérico.
UNIDADES DE MEDIDA: Metros cuadrados
ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema

NOMBRE DEL ATRIBUTO: **Localidad**
DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Muestra la localidad o Unidad superior de paisaje.
TIPO DE DATO: Numérico.
UNIDADES DE MEDIDA: Sin unidades
ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema.

NOMBRE DEL ATRIBUTO: **Paraje**
DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Muestra la comarca o paraje simple de paisaje
TIPO DE DATO: Numérico

UNIDADES DE MEDIDA: Sin unidades

ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema

NOMBRE DEL ATRIBUTO: CTN

DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Muestra la comarca o paraje complejo de paisaje

TIPO DE DATO: Numérico

UNIDADES DE MEDIDA: Sin unidades

ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema

NOMBRE DEL ATRIBUTO: Rangos

DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Muestra el rango de inclinación del terreno de paisaje

TIPO DE DATO: Numérico

UNIDADES DE MEDIDA: Grados

ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema

NOMBRE DEL ATRIBUTO: ID.

DEFINICIÓN DEL ATRIBUTO: Identificador

TIPO DE DATO: Numérico

UNIDADES DE MEDIDA: Sin unidades

ORIGEN DEL ATRIBUTO: Sistema

