



PRONÓSTICO

PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO LOCAL DEL MUNICIPIO TULUM

ELABORADO POR:



SYLVATICA, S. C.

FEBRERO 2014

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	2
II.1.	OBJETIVO GENERAL.....	2
II.2.	OBJETIVOS PARTICULARES.....	2
III.	MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA SOCIO-AMBIENTAL.....	3
III.1.	Componentes del sistema socia-ambiental.....	3
III.2.	funcionamiento del sistema socio-ambiental.....	4
IV.	ESCENARIO TENDENCIAL.....	7
IV.1.	DETERIORO DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES.....	8
IV.2.	DETERIORO DE LOS BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES.....	8
IV.2.1.	Vegetación Forestal.....	9
IV.2.2.	Afectación de los servicios ambientales de la vegetación forestal.....	10
IV.2.3.	Subsuelo Cárstico.....	11
IV.2.4.	Servicios ambientales del Subsuelo Cárstico.....	13
IV.2.5.	Biodiversidad.....	13
IV.2.6.	Servicios ambientales de la biodiversidad.....	15
IV.2.7.	Recursos Hídricos.....	16
IV.2.8.	Playas y Dunas Costeras.....	20
IV.2.9.	Humedales.....	22
IV.2.10.	Conclusiones en cuanto al deterioro de bienes y servicios ambientales. .	26
IV.3.	LOS PROCESOS DE PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL, DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS Y DE ESPECIES SUJETAS A PROTECCIÓN.....	27
IV.3.1.	Perdida de cobertura vegetal.....	27
IV.3.2.	Degradación de Ecosistemas.....	30
IV.3.3.	Especies sujetas a protección.....	31
IV.4.	LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	33
IV.4.1.	Disponibilidad de Agua.....	33
IV.4.2.	Captación de Carbono.....	45
IV.4.3.	Intensidad de Huracanes.....	45
IV.5.	LAS TENDENCIAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y LAS DEMANDAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS URBANOS.....	47

IV.5.1.	Tendencias de crecimiento de la población.....	47
IV.5.2.	Demanda de suelo urbano para el crecimiento de los centros urbanos...	49
IV.5.3.	Crecimiento del sector turístico.....	59
IV.5.4.	Demandas de Infraestructura Urbana y Servicios Públicos.....	65
IV.6.	LOS IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS CONSIDERANDO SUS CAUSAS Y EFECTOS EN TIEMPO Y LUGAR.....	74
IV.6.1.	Acciones que causan impactos sobre el medio ambiente dentro del municipio.....	74
IV.6.2.	Identificación, valoración y descripción de impactos potenciales.....	77
IV.7.	LAS TENDENCIAS DE DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y DE CAMBIO DE LOS ATRIBUTOS AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA APTITUD DEL TERRITORIO PARA EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES SECTORIALES.....	124
IV.7.1.	Vegetación Forestal.....	124
IV.7.2.	Sustrato Calizo.....	125
IV.7.3.	Biodiversidad.....	125
IV.7.4.	Recursos Hídricos.....	125
IV.7.5.	Playas y dunas costeras.....	126
IV.7.6.	Humedales.....	126
IV.8.	ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS (MÉTODO KSIM).....	127
IV.9.	REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA.....	139
V.	ESCENARIO CONTEXTUAL.....	141
V.1.	DETERIORO DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES, PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL, DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS Y DE ESPECIES SUJETAS A PROTECCIÓN.....	142
V.2.	TENDENCIAS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL Y LAS DEMANDAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS.....	146
V.2.1.	Tendencias de crecimiento de la población.....	146
V.2.2.	Proyección de crecimiento de los centros urbanos.....	147
V.3.	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	149
V.4.	ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS.....	150
V.5.	ESCENARIO ESTRATÉGICO.....	152
V.5.1.	ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS.....	157
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	159

I. INTRODUCCIÓN

El Municipio de Tulum posee una diversidad de elementos naturales, desde extensas playas, sistemas ríos subterráneos considerados de los más extensos del mundo y selvas medianas en buen estado de conservación; todos ellos catalogados como un gran atractivo turístico para visitantes de todos los continentes, razón por la cual, Tulum ha sido considerado un municipio con gran potencial de desarrollo. Sin embargo, tanto la promoción y desarrollo abrupto del turismo, como la conservación extrema, actuando como ejes unidireccionales e independientes, no garantizan el alcance de un desarrollo sustentable para el Municipio.

Es necesario, por tanto, realizar una evaluación de los factores que intervienen en las dinámicas esenciales entre los aspectos sociales, económicos y desde luego ambientales para poder definir la imagen objetivo (meta) ideal para el Municipio de Tulum. Para ello, fueron planteados tres escenarios constituidos a partir un modelo conceptual socio-ambiental, de tal manera que la variación de los elementos que conforman dicho modelo de sistema, ayudó a proyectar tendencias y comportamientos futuros y discriminar los comportamientos deseables de los indeseables. Dichos escenarios permitieron identificar las consecuencias de continuar con las tendencias actuales, llevar a cabo los planes y programas de los tres niveles de gobierno y la integración de ambos para la conformación de dicha meta.

El primer escenario, denominado “escenario tendencial” se llevó a cabo con base en las tendencias históricas de los elementos o factores que componen el sistema socio-ambiental, definiendo su efecto en la ocupación del territorio y el aprovechamiento de los recursos naturales del Municipio. Para este fin se utilizó información disponible de fuentes oficiales con la cual se generó una proyección a 25 años.

El segundo escenario, denominado “escenario contextual”, consistió en la proyección de los componentes del sistema socio-ambiental considerando la tendencia histórica y la ejecución de los proyectos estratégicos planteados por los tres niveles de gobierno, los establecidos en Programas de Desarrollo Urbano, Proyectos de Gran Visión de CFE, CNA, SCT, PEMEX, SECTUR, así como los proyectos de iniciativa privada considerados de alto impacto social, económico y ambiental.

Por último se elaboró el escenario estratégico, el cual surge a partir de la síntesis de los escenarios anteriores para construir el escenario que representa las expectativas sociales del desarrollo y que considera la implementación de acciones y medidas de corrección, de mitigación o prevención de los procesos de deterioro y de los conflictos ambientales.

II. OBJETIVOS

II.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las tendencias de cambio que se generan en el Municipio de Tulum en la actualidad y realizar una propuesta del posible comportamiento futuro de los componentes ambientales sociales y económicos, que contribuyan a establecer las políticas ecológicas y los usos y modalidades de uso que permitan garantizar un desarrollo sostenible, para el bienestar de los habitantes del municipio.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES

De acuerdo con el Artículo 44 de la del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Ordenamiento Ecológico:

La etapa de pronóstico tendrá por objeto examinar la evolución de los conflictos ambientales, a partir de la previsión de las variables naturales, sociales y económicas. En esta etapa se considerará, de manera enunciativa, más no limitativa:

- El deterioro de los bienes y servicios ambientales;
- Los procesos de pérdida de cobertura vegetal, degradación de ecosistemas y de especies sujetas a protección;
- Los efectos del cambio climático;
- Las tendencias de crecimiento poblacional y las demandas de infraestructura urbana, equipamiento y servicios urbanos;
- Los impactos ambientales acumulativos considerando sus causas y efectos en tiempo y lugar; y

Las tendencias de degradación de los recursos naturales y de cambio de los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para el desarrollo de las actividades sectoriales.

III. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA SOCIO-AMBIENTAL

De acuerdo con Grant et al. (2001) el desarrollo e integración de un modelo conceptual se compone de los siguientes pasos:

- Definición de los objetivos del modelo
- Definición de los límites del sistema de interés
- Clasificación de los componentes del sistema de interés
- Identificación de las relaciones entre los componentes del sistema
- Representación formal del modelo conceptual
- Descripción de los patrones esperados del comportamiento del modelo

Previo a la estructuración del sistema socio-ambiental fue necesario hacer un inventario de factores o elementos que lo componen y que de alguna forma tienen influencia directa e indirecta en su funcionamiento y desarrollo. De tal manera que fueron identificados cuatro grandes componentes del sistema socio ambiental, los cuales son descritos a continuación y presentados de forma esquemática en la **Figura 1**.

III.1. COMPONENTES DEL SISTEMA SOCIA-AMBIENTAL

- Planes y programas

Este componente o elemento hace referencia a los planes y programas de los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal) que tienen influencia en el municipio de Tulum y que además son objeto de atención para el ordenamiento ecológico debido a que sus lineamientos y estrategias implican el manejo, aprovechamiento o desarrollo de los recursos naturales y los sectores presentes en el municipio.

- Sectores

Corresponde al grupo de sectores identificados y descritos en las fases anteriores (caracterización y diagnóstico) cuyo desarrollo y dinámica es crucial en el aprovechamiento de los recursos naturales.

- Procesos de degradación

Este componente incluye los procesos de degradación o deterioro que es posible identificar en el municipio, considerando principalmente: la degradación de bienes

y servicios ambientales, los efectos negativos del crecimiento poblacional, la extinción de especies protegidas, los efectos de cambio climático, los impactos ambientales acumulativos y la pérdida de cobertura vegetal.

- Atributos vitales, necesarios y deseables

Son componentes del sistema socio-ambiental sin los cuales este colapsa, se modifica drásticamente o se incide en su calidad. Para el municipio de Tulum han sido identificados tres principales: la disponibilidad de agua en calidad y cantidad, la integridad de los ecosistemas y la biodiversidad.

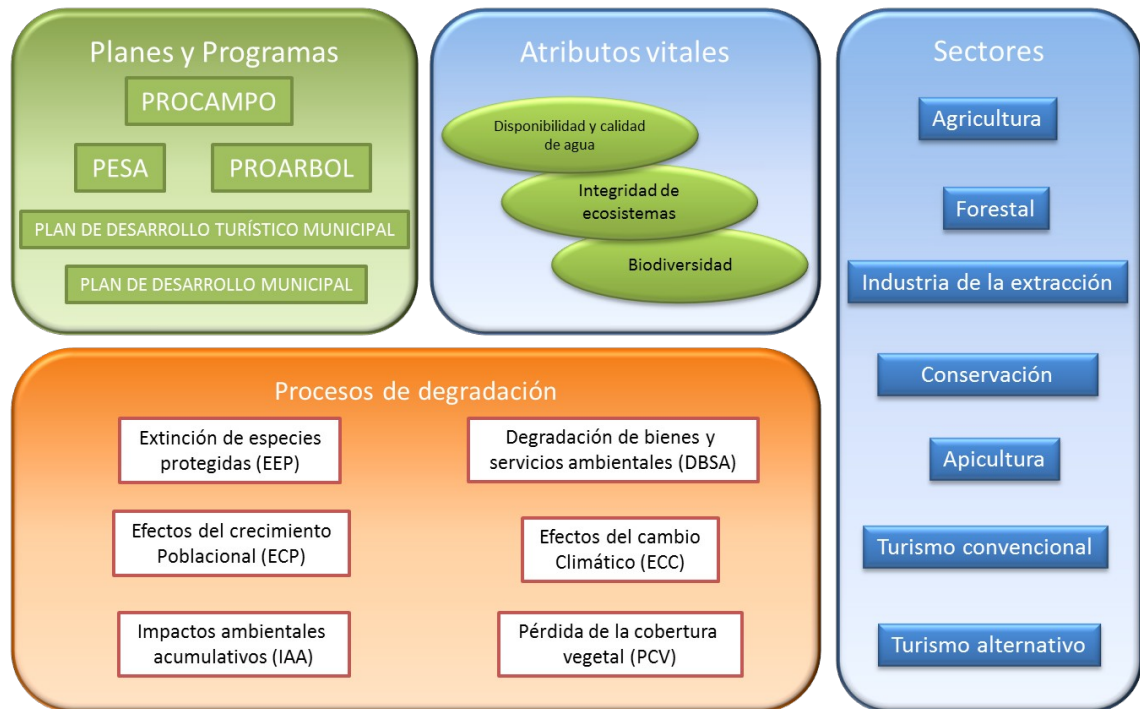


Figura 1. Esquema gráfico de los componentes del sistema socio-ambiental.

III.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SOCIO-AMBIENTAL

Describir el funcionamiento del sistema socio-ambiental es una tarea que no sólo implica el conocimiento de sus componentes sino la relación o interacción existente entre éstos, la cual puede ser tanto negativa como positiva y en algunas ocasiones recíproca. La conformación de dichas interacciones en el ámbito real es compleja, sin embargo, con la esquematización del sistema socio-ambiental se busca tener un acercamiento hacia la comprensión del funcionamiento del mismo, de tal forma

que se logre generar escenarios en donde la variación de los componentes a través del tiempo permita prevenir comportamientos deseables e indeseables.

De manera general se podría asegurar que el sistema socio-ambiental funciona como una red en la cual todos los componentes se encuentran ligados; sin embargo, existen relaciones significativas y otras, por el contrario, resultan prescindibles para los objetivos del ordenamiento ecológico. Las interacciones más significativas se dan entre los cuatro grandes componentes identificados; por ejemplo, los sectores inciden tanto en forma positiva como negativa en los procesos de degradación, ya sea estimulando o frenando la generación o desarrollo de los mismos e impactando negativamente sobre los atributos vitales; siendo la degradación de estos últimos, la que incidirá a largo y mediano plazo en la modificación de todo el sistema (**Figura 2**). Por otra parte los planes y programas de los diferentes órdenes de gobierno inciden en la estimulación y desarrollo de los sectores definidos.

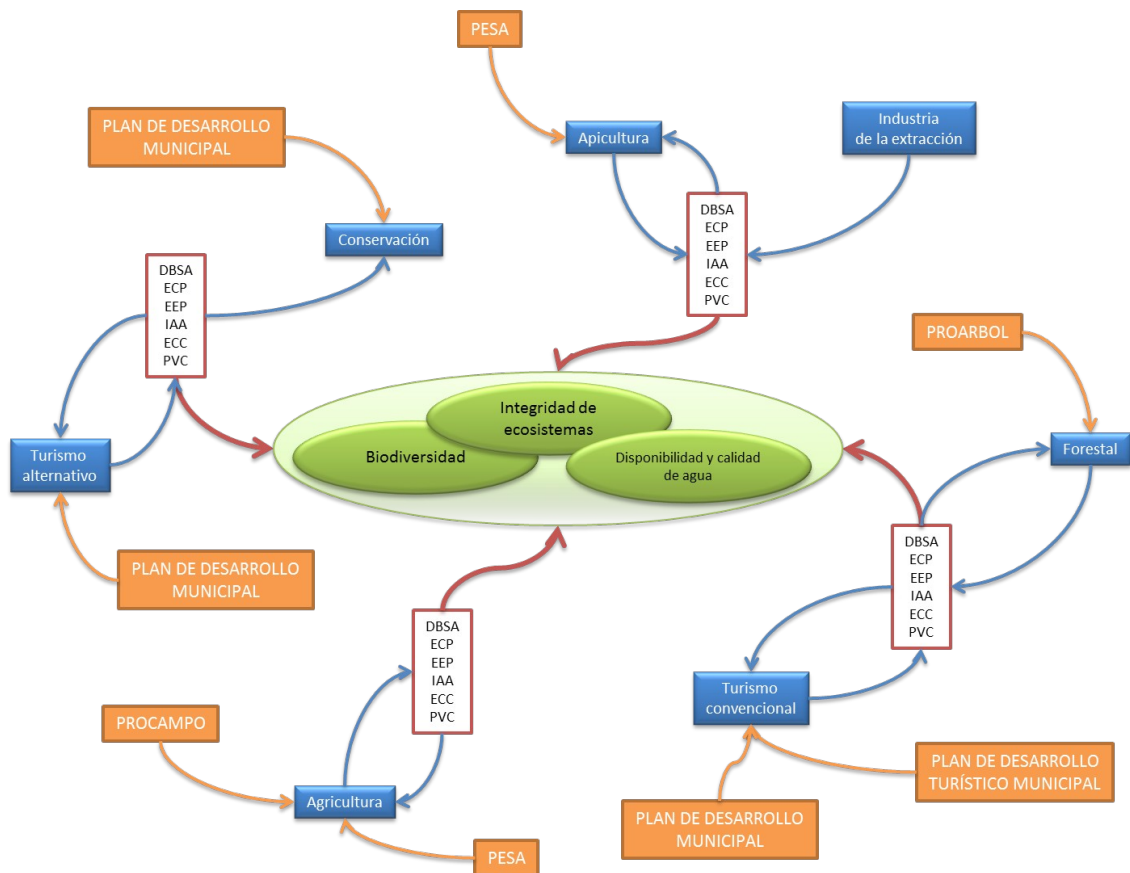


Figura 2. Modelo conceptual del sistema socio-ambiental. Se presenta la interacción entre cada uno de los componentes descritos para sistema socio-ambiental del Municipio de Tulum.

Durante el desarrollo del modelo conceptual fue posible observar que algunos de los procesos de degradación identificados son el resultado directo e indirecto de la presencia de otro u otros, por lo cual se estableció un esquema específico para la definición de las interacciones entre los procesos de deterioro. Dicho esquema se presenta en la **Figura 3**, en éste es posible identificar que los efectos negativos del crecimiento poblacional tienen influencia en la mayoría los procesos, ya que el crecimiento poblacional comúnmente deriva en la pérdida de cobertura vegetal, la manifestación de impactos acumulativos (contaminación del agua) y por consiguiente en la degradación de bienes y servicios ambientales. Asimismo, la pérdida de cobertura vegetal incide en la degradación de bienes y servicios ambientales al manifestarse procesos de erosión que de no tener control, pueden convertirse en un impacto acumulativo. Por otra parte, la mayoría de los procesos identificados y definidos tienen incidencia directa o indirecta en las condiciones que propician la extinción de especies.

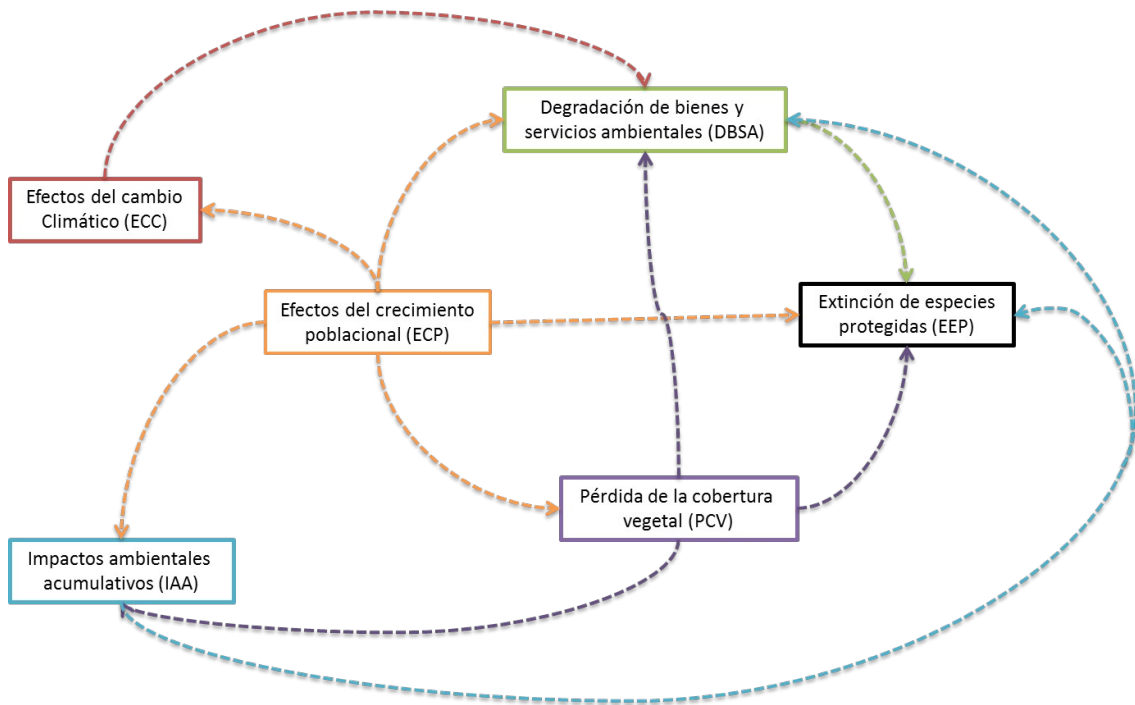


Figura 3. Procesos de deterioro. Los procesos de deterioro presentan diversas interacciones que varían en función de las condiciones presentes en el Municipio de Tulum.

IV. ESCENARIO TENDENCIAL

Para el análisis de este escenario se considerará la proyección de las tasas actuales de crecimiento del municipio, y el comportamiento de los recursos naturales, calculadas a partir del análisis histórico de las variables. Los factores bajo los cuales se enmarcará el escenario propuesto para los próximos 25 años tomarán en consideración los siguientes aspectos:

- El deterioro de los bienes y servicios ambientales y el cambio en los atributos ambientales que determinan la aptitud del territorio para el desarrollo de las actividades sectoriales.
- Las tendencias de crecimiento de los sectores y el crecimiento poblacional, especificando la distribución espacial de la expansión de centros de población y de las actividades productivas, demanda de infraestructura, equipamiento y servicios urbanos.
- La identificación de los principales impactos ambientales (acumulativos y sinérgicos)

Estos tres aspectos serán descritos a detalle en los apartados siguientes con el fin de establecer las bases que ayuden a integrar la tendencia más probable dados los eventos socioeconómicos y ambientales ocurridos en el territorio correspondiente al municipio de Tulum en los últimos años. Esta descripción servirá de base, junto con las relaciones descritas en el modelo socio-ambiental, para la generación de un esquema cuantitativo que refleje la tendencia probable de los sectores involucrados en el municipio y su influencia en los procesos de deterioro; todo ello a través de un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) y un análisis de impactos cruzados.

IV.1. DETERIORO DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES

Para el municipio de Tulum se definieron seis bienes naturales los que constituyen la matriz natural en la que se llevan a cabo los procesos naturales y productivos del municipio. Para cada uno de ellos se definieron una serie de servicios ambientales, en la **Tabla 1** se presenta una síntesis de éstos.

Tabla 1 Bienes Naturales y los Servicios Ambientales que prestan. Se presentan los bienes y servicios definidos en el diagnóstico del municipio.

Bienes Naturales	Servicios Ambientales
Vegetación Forestal	Captación de Bióxido de Carbono atmosférico
	Conservación de la Biodiversidad
	Regulación Microclimática
	Fuente de recursos maderables y no maderables
Subsuelo Cárstico	Recarga del acuífero
	Hábitat para especies estigobias
	Materiales de Construcción
Biodiversidad	Banco de germoplasma
	Activo ecoturístico
	Alimento y medicinas
Recursos Hídricos	Fuente de aprovisionamiento
	Reserva estratégica
	Hábitat para fauna estigobia
	Activo ecoturístico
Playas y Dunas Costeras	Anidación de tortugas marinas
	Estabilidad de la porción costera
	Activo turístico
Humedales	Zona de reproducción de especies marinas
	Biofiltro
	Zona expulsora de nutrientes
	Formadores de tierra firme
	Activo ecoturístico

IV.2. DETERIORO DE LOS BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES.

En este apartado se describen las características del deterioro de los bienes naturales y se expondrán las consideraciones relativas a la afectación de los servicios ambientales que presta cada Bien Natural.

IV.2.1. Vegetación Forestal.

De acuerdo con los resultados del análisis de cambio de uso del suelo se encontró que en el municipio la actividad agrícola y pecuaria que comúnmente constituye el factor típico de cambio de uso del suelo sufrió una reducción notable en el periodo evaluado de 15 años. Esta situación se deriva de una compleja situación económica agravada por el incremento del costo de los insumos agrícolas, la falta de apoyo a los productores de la zona maya, a un bajo rendimiento de las tierras y la falta de canales de comercialización para los productos del campo, aunado a condiciones climáticas desfavorables como las sequias.

En el municipio de Tulum la reducción de superficies ocupadas por vegetación forestal no es una problemática de consideración, ya que de acuerdo con el análisis realizado durante el diagnóstico del municipio se encontró que en un periodo de 16 años (1988 a 2004), el 65.14 % del municipio no presentó cambios en la cobertura vegetal, lo que implicó que en 132,955.66 hectáreas se mantuvieron las condiciones naturales de la vegetación.

Entre los principales cambios que se identificaron fueron en el cambio de vegetación primaria a vegetación secundaria con un 10.12 % de la superficie municipal (20,663.19 Has), asimismo se identificó la progresión de un estadio de vegetación secundaria hacia uno tendiente a vegetación primaria o más desarrollada que implicó una superficie de 30,381.75 hectáreas (14.89 %), y por último la reconversión de superficies agrícolas a terrenos ocupados por vegetación secundaria en una superficie de 11,945.75 Ha. (5.85 % del territorio Municipal).

Lo anterior refleja una tendencia favorable de sucesión natural de la vegetación o de cambio de uso del suelo negativo en el periodo analizado. Este comportamiento resulta consistente con la tendencia al desarrollo de actividades ecoturísticas en algunos ejidos, así como a la carencia de permisos para el aprovechamiento forestal y como elemento clave la falta de caminos de acceso que permitan el acceso a zonas remotas o con recursos forestales abundantes.

Un aspecto muy importante que tienen las selvas del estado es la función ecológica denominada resiliencia, cualidad que les permite recuperarse de impactos considerables, como la presencia de incendios o desmontes para la apertura de terrenos agrícolas, los cuales una vez que entran en abandono pueden presentar

condiciones muy favorables para una sucesión ecológica que tiende a la recuperación de las condiciones originales.

La resiliencia, la habilidad de los ecosistemas para recuperarse de las sorpresas y los shocks, para continuar funcionando y proporcionando servicios ecológicos, es, probablemente, la más crítica de las propiedades de un ecosistema en términos de su sustentabilidad ecológica. Generalmente, sólo un pequeño número de especies juegan un papel crítico en los procesos de los ecosistemas. Pero cuando el ecosistema es estresado o perturbado, un gran número de otras especies ejecutan funciones de amortiguamiento, en el sentido de que contribuyen a la resiliencia del ecosistema. Sin estas especies sustitutas, la resiliencia se reduciría drásticamente o se perdería (Toledo, 1998)

Es pues que la vegetación forestal es un ente dinámico con gran capacidad de adaptación y que no se debe considerar como un elemento inmóvil sin capacidad de adaptación al cambio, en este caso se encuentran la totalidad de los tipos de vegetación registrados en la geografía del municipio.

Por ello si se considera en un escenario la tendencia de este componente en un futuro a mediano plazo se pueden generar escenarios de recuperación total de la vegetación si se eliminan los factores de disturbio, un ejemplo son las áreas que se quemaron en los años 70 y que en la actualidad mantienen una vegetación secundaria arbórea que con el paso del tiempo tenderán hacia una vegetación similar a la primaria.

La evolución del cambio de uso del suelo de la vegetación forestal es uno de los retos que tiene el municipio para poder controlar y programar las superficies susceptibles de incrementarse.

IV.2.2. Afectación de los servicios ambientales de la vegetación forestal

- Captura de Bióxido de Carbono

Debido a que el estado de la vegetación forestal no representa una problemática generalizada y por el contrario ha manifestado una tasa positiva de recuperación, indica que el servicio de captura de bióxido de carbono atmosférico se ha mantenido y en algunos casos la vegetación al incrementar su estadio de desarrollo capta más carbono. Por lo que no se anticipan afectaciones de consideración en este servicio, por el contrario, se espera que como resultado del cambio climático este servicio se incremente, generando más biomasa.

- Conservación de la Biodiversidad

Debido a que el centro urbano de Tulum y los poblados costeros de Akumal y Chemuyil reúnen la mayor densidad poblacional se considera que la problemática derivada de la fragmentación de los ecosistemas, así como la pérdida de recursos no anticipan una afectación a la biodiversidad del municipio. De acuerdo con los datos plasmados en la Caracterización del Municipio, este posee aún una gran diversidad de flora y fauna. Además existen grandes áreas en estado natural, además de las porciones del territorio que se encuentran dentro de las áreas naturales protegidas de tipo federal.

Al igual que en el caso anterior con el ordenamiento del territorio municipal se pueden establecer estrategias de conservación de la biodiversidad

- Regulación del Microclima

Este servicio ambiental se mantiene en buenas condiciones en la mayor parte del territorio municipal y las zonas en donde se ha reducido de manera más notable son los centros urbanos y parte de la zona turística, en conjunto reúnen una superficie de 1,330 hectáreas, mismas que representan el 0.65 % de la superficie municipal. Tomando como consideración el posible crecimiento urbano en los próximos 25 años se tendría una superficie estimada de 4,430 hectáreas, en ese caso el escenario sería de una afectación del 2.17 % del territorio para los centros urbanos.

- Fuente de recursos maderables y no maderables

El municipio de Tulum posee una riqueza forestal que no se está aprovechando bajo esquemas de producción forestal autorizada, existe un aprovechamiento informal de palizada y otros recursos forestales. Esta situación resulta paradójica ya que no obstante el potencial de madera y otros productos, éstos no se aprovechan por la falta de apoyos y de un mercado para las maderas duras tropicales.

IV.2.3. Subsuelo Cárstico

La planicie calcárea que constituye la Península de Yucatán presenta un proceso de erosión conocido como carsticidad, que genera conductos de disolución diferencial de los carbonatos por el paso del agua, lo que permite la rápida recarga del acuífero continental. El acuífero en el municipio fluye hacia la costa y con este movimiento del agua contribuye en la formación de intrincados sistemas de cuevas inundadas, consideradas las más extensas del mundo. En el sustrato calizo también se forman lagos cársticos o dolinas, que se denominan regionalmente

cenotes (*dzonot* en maya) hasta la fecha se tiene el registro conjunto de 361 cenotes¹ Estas estructuras permitieron la colonización de la Península, al ofrecer agua potable para los habitantes, por ello en la actualidad tienen un interés antropológico y constituyen además un atractivo turístico para la rama del Espeleobuceo en sus diferentes tipos.

La afectación que genera el uso industrial del sustrato cárstico mediante la apertura de bancos de préstamo de materiales pétreos, tanto del material denominado sascab, como de roca caliza para convertirla en polvo y grava, es una de las actividades que genera impactos permanentes al promover el retiro del sustrato.

De acuerdo con los registros obtenidos del análisis de imágenes de satélite SPOT y ortofotos del INEGI se determinó la existencia de 52 polígonos de bancos de material en el municipio Tulum, los que comprenden una superficie conjunta de 162 hectáreas y tienen una superficie promedio de 3,12 hectáreas y una superficie máxima de 34 hectáreas y una mínima de 0.14 hectáreas. Los bancos más extensos se ubican de manera paralela a la Carretera Federal 307, Reforma Agraria Puerto Juárez y coinciden con las áreas de desarrollo de viviendas y desarrollos turísticos.

En el Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región denominada Corredor Cancún Tulum publicado noviembre de 2001 se creó la UGA 14 en la que se establecía el uso para bancos de material, sin embargo, ninguna de las sascaberas o bancos de material identificados se ubica dentro de alguno de los dos polígonos de esta unidad dentro del municipio, que en conjunto representan 2,669.63 hectáreas, por lo que no se dio cumplimiento a lo establecido en ese instrumento de planeación.

El riesgo que implica la apertura de bancos de material en los que se realiza la extracción del material calizo es la de crear puntos en donde el acuífero se ubica a una escasa profundidad estando latente una posible contaminación del agua si se realiza una disposición inadecuada de residuos en éstos, además del posible impacto a los flujos subterráneos y la estabilidad del nivel estático.

Otro de los problemas ambientales asociados a los bancos de material se deriva del hecho de que, hasta este momento, en ninguno se han realizado trabajos de restauración ambiental por lo que los bancos agotados se encuentran prácticamente en abandono y constituyen un pasivo ambiental.

¹ De acuerdo con el inventario realizado con la participación de la SEMA, Razonatura, Amigos de Sian Ka'an y Sylvatica S.C.

Se estima que para el año 2037, se generará una afectación de aproximada de 810 hectáreas, lo que implica un crecimiento del 500 %.

IV.2.4. Servicios ambientales del Subsuelo Cárstico

- Hábitat para especies estigobias

Los sistemas de cuevas inundadas que se ubican en el sustrato calizo son el hábitat de varias especies de peces y crustáceos altamente especializados, que corresponden a un ensamble de especies únicas y endémicas. Hasta la fecha han sido un recurso biológico al que se le ha prestado poca atención no obstante el incremento de actividades subacuáticas que se han registrado en los últimos 10 años, mismas que se realizan sin ningún control y también se carece de estadísticas o estudios sobre las poblaciones de estas especies.

- Materiales de construcción

El sustrato calizo constituye una fuente abundante de materiales para la construcción, reflejo de esta potencialidad es el número de sascaberas existentes, un aspecto que requiere de atención es la aplicación de la normatividad vigente, ya que aparentemente existe una serie de bancos que se han establecido de manera informal. Además de que no se dio cumplimiento a lo indicado en el POET del Corredor Cancún Tulum al no estar ninguno de los bancos detectados dentro de alguno de los polígonos de la UGA 14.

IV.2.5. Biodiversidad

La biodiversidad como bien ambiental es un concepto difuso, ya que en el territorio municipal no se cuenta con estudios específicos sobre la cantidad de especies que la conforman, ni sobre el estado de conservación que presentan. Esta falta de información evita que se generen políticas públicas para el aprovechamiento de este bien. En el municipio son variados los recursos naturales que pueden constituir atractivos turísticos, hasta el momento son reducidos y desarticulados los esfuerzos para generar productos turísticos que aprovechen de maneja sustentable este recurso, asimismo existe una falta de interés por el establecimiento de unidades para el manejo de la vida Silvestre, mediante las cuales se pueda llevar a cabo un aprovechamiento tanto de la carne de algunas especies que se pueden promover como delicias de la selva, así como para el aprovechamiento cinegético, o bien para el uso de sustancias o venenos para la industria farmacéutica.

Hasta el momento, se considera que la biodiversidad está en función de la presencia de estratos de vegetación bien conservados, en donde se estima que se ubica la mayor cantidad de especies. La afectación a la biodiversidad será relativa a la ampliación del horizonte urbano y turístico, por lo que se concentrarán principalmente en la zona costera.

Existen algunas especies de los diferentes ecosistemas del Municipio que se encuentran enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en el caso de la flora se registraron 11 especies y para la fauna 82 especies. De estas últimas se considera necesario destacar son las especies estigóbias (ocho especies) que presentan una especialización para la vida en sistemas de cuevas inundadas (**Figura 4**).



Figura 4.- Peces Ciegos. En la imagen se muestra al pez ciego *Ogilbia pearsei*, el cual está perfectamente adaptado a la vida en cuevas. Es una especie muy sensible a la contaminación y al contacto humano, por lo que se considera que sus poblaciones están en riesgo debido a la proliferación de la práctica del espeleobuceo. **Foto: Mike Madden.**

A la fecha es muy poca la información que se tiene con respecto a su ciclo de vida, hábitos alimenticios, estructura trófica y en general de la ecología de estas especies. Se considera que este increíble grupo de especies se encuentra seriamente amenazado debido a problemáticas tales como la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos y por un uso indiscriminado de actividades subacuáticas a través del espeleobuceo, con las cuales es muy posible que se estén generando afectaciones en sus poblaciones.

Por último, en el territorio municipal existen dos áreas naturales protegidas de tipo federal (R.B. Sian Ka'an y el P.N. Tulum y una de tipo estatal (Santuario de la Tortuga Marina de Xcacel - Xcacelito), en las que está garantizada la conservación de la biodiversidad.

IV.2.6. Servicios ambientales de la biodiversidad

- Banco de germoplasma

La flora y fauna de Quintana Roo constituyen un importante banco de germoplasma que reúne especies de la región Neártica y de la Neotropical, esto le confiere una gran diversidad biológica que ocupa los variados ecosistemas del Municipio, hasta la fecha son escasos los aprovechamientos autorizados que se realizan sobre la Biodiversidad ya que existe potencial como atractivo ecoturístico, farmacéutico, cinegético y alimentario.

Entre las causas que afectan la biodiversidad se consideran aquellas acciones o actividades que afectan especies clave, ya que en el caso de las especies con amplia distribución es difícil que se llegue a presentar una alteración a nivel de biodiversidad, debido a que implicaría prácticamente la pérdida de especies. En este caso se considera que la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos, la realización de actividades turísticas en la zona de playas y el buceo en zona marina y el espeleobuceo representan situaciones que pueden generar la afectación de especies y por ende la pérdida de germoplasma. La afectación se especifica sobre la fauna ya que como se comentó de manera previa las selvas y por lo tanto las especies que las constituyen poseen mecanismos que les permite adaptarse a impactos ambientales de magnitud considerable. Desafortunadamente la fauna no presenta la resiliencia como una de sus estrategias, debido a que tienen la capacidad de desplazamiento, con lo que se alejan de las zonas en donde persiste un impacto o situaciones desfavorables, llegando a desaparecer de la zona de manera temporal o permanente.

- Activo ecoturístico

En cuanto al desarrollo de actividades ecoturísticas sustentadas en la biodiversidad, son escasos los aprovechamientos o productos que se ofertan en el municipio, y sin embargo es una necesidad apremiante expresada por los ejidatarios de varias zonas del Municipio en donde tienen recursos naturales en buen estado y sin embargo no pueden desarrollar actividades de este tipo por falta de recursos, capacitación y apoyo para la promoción y comercialización de este tipo de productos.

Algunos ejemplos de productos factibles de desarrollar, serían los paseos para observar tropas de monos araña, o la búsqueda de pistas de jaguar, la observación de tortugas marinas durante la temporada de desove, entre otras.

- Alimento y medicinas

La flora y fauna han estado estrechamente ligados al hombre al ser las fuentes de abasto de suministro para sus viviendas, así como alimentos y medicinas, por ello se considera que en este sentido este importante servicio ambiental se encuentra subutilizado ya que prácticamente sólo se utilizan los recurso de la flora como materiales de construcción, son incipientes los aprovechamientos legalmente establecidos de flora o fauna, incluso el aprovechamiento forestal es muy reducido.

En este sentido se considera que existe una importante área de oportunidad en la promoción de unidades de manejo ambiental (UMA) para promover el aprovechamiento de la carne de algunas especies como el jabalí o el venado cola blanca, el hocofaisán, pavo de monte y tepezcuintle; así como las UMA para el aprovechamiento sustentable de plantas medicinales o medicina herbolaria.

IV.2.7. Recursos Hídricos

Este es uno de los bienes naturales que resultan fundamentales para la ocupación del territorio, ya que las aguas pluviales se infiltran a través de la roca y se almacenan formando un acuífero dinámico prácticamente en todo el territorio municipal. En el que el agua fluye a través de canales de disolución preferencial hacia el mar. Esta condición establece una vulnerabilidad muy alta de este bien ya que debido a la porosidad de la roca caliza, permite la rápida infiltración de los contaminantes que se depositan o derraman aguas arriba, tal es el caso del tiradero a cielo abierto de Tulum, que cuenta con una superficie de tres hectáreas, éste se ubica a dos kilómetros aguas arriba de los pozos de extracción de agua potable. La problemática de contaminación del acuífero no es exclusiva de la

ciudad de Tulum, en Akumal existe una grave problemática por la disposición de las aguas residuales, las que están afectando un sistema de cenotes, que se ubican sobre una falla en donde el flujo del agua va de Sur a Norte, y lleva hacia la Caleta de Yalkú (**Figura 5**).



Figura 5.- Contaminación del Acuífero. Vista un cenote con grave problema de eutrofización, en la zona de Akumal derivado de una inadecuada disposición de aguas residuales. Foto: SYLVATICA/GGómez/2011

- Fuente de aprovisionamiento

El acuífero de Tulum representa una importante fuente de aprovisionamiento de agua dulce, presenta sin embargo, algunos problemas con el manejo de aguas residuales en la zona urbana y en la zona de hoteles rústicos ubicados entre el límite Sur del Parque Nacional Tulum y el límite Norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, así como la problemática antes descrita para la zona de Akumal. En el caso de la ciudad de Chemuyil, ésta actualmente ya cuenta con una planta de tratamiento (**Figura 6**).

Afortunadamente la problemática de contaminación que afecta al acuífero se puede considerar puntual y con posibilidades de ser resuelta con medidas de manejo adecuadas. Además el potencial del acuífero para funcionar como fuente de aprovisionamiento de agua potable es considerable y en términos generales se encuentra libre de contaminación.



Figura 6.- Planta de tratamiento de aguas residuales de Chemuyil. Foto: CAPA, 2012.

- Reserva estratégica

Debido a la problemática nacional y mundial derivada del proceso de calentamiento global, se estima que las sequías afectarán notablemente a México, por lo que el agua será considerado como un recurso estratégico, y en este caso, el Municipio de Tulum puede llegar a tener un papel preponderante en la existencia de reservas de agua. Por ello es importante que se establezcan políticas y estrategias tendientes a la protección de este recurso. De acuerdo con Martínez (2007) para el año 2030 si se continúa con los esquemas de manejo del recurso hídrico, establece que la Península de Yucatán se encontrará en un escenario de presión media, (**Figura 7**).

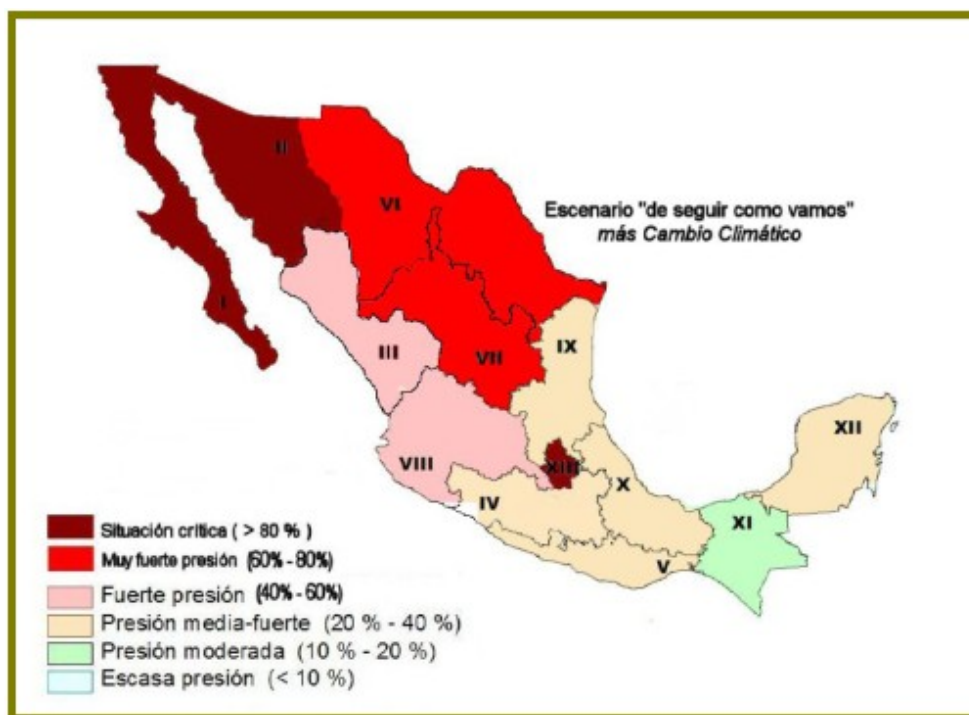


Figura 7.- Escenario de Presión por el recurso agua al 2030. De acuerdo con esta proyección la Península de Yucatán se encontrará en un nivel de presión media a fuerte.

- Hábitat para fauna estigobia

Debido a las condiciones prístinas que presenta el agua subterránea, ha permitido la evolución de un complejo de especies derivadas de ancestros de origen marino que actualmente ocupan los sistemas de cuevas inundadas.

Los procesos de urbanización para el establecimiento de asentamientos humanos en la zona continental está ocasionando problemas de contaminación del agua en algunos puntos de la geografía municipal, el caso más grave consiste en el establecimiento de un tiradero a cielo abierto a 9 km de Tulum, y aguas arriba de la zona de pozos de extracción de agua potable.

Asimismo la estabilidad que por milenios ha permitido la proliferación de las especies estigobias, en estos momentos se encuentra amenazado por la incursión humana en los sistemas de cuevas inundadas, ya que la especie *Ogilbia pearsei* es particularmente sensible a la presencia humana y si esto se hace de manera reiterada en una zona, esta especie se desplazará lejos de las áreas en donde se realice la actividad de espeleobuceo.

La problemática que se está generando sobre este servicio ambiental del acuífero esta poco estudiada y se considera que deben aplicarse medidas preventivas para la protección de este grupo único de especies.

- Activo ecoturístico

Debido a la particularidad de que en la Península de Yucatán existen ríos subterráneos, se abre la posibilidad del uso ecoturístico de los sistemas de cuevas inundadas, mismos que representan un atractivo de increíble belleza, y con sistemas que presentan las mayores longitudes.

Derivado de esta posibilidad desde mediados de los años 80, algunos pioneros del buceo en cuevas se asentaron en la zona de Akumal y comenzaron a realizar expediciones y tours de buceo, con los que poco a poco se comenzó a descubrir el enorme potencial que tienen estos sistemas. En la actualidad Tulum se ha convertido en la Meca del Espeleobuceo, situación que se deriva de la existencia de los 5 sistemas más grandes del mundo s: Ox Bel Ha 243.03 Km., Sac Aktun 222.67 Km., Nohoch Nah Chich 65 Km., Dos Ojos 82.29 km. y Naranjal 21.5 km (Torres, 2006), Por lo que se considera necesario orientar el uso de los sistemas de cuevas inundadas en la búsqueda de la preservación de la belleza de los sistemas de cuevas inundados y principalmente de la frágil biota que los ocupa.

IV.2.8. Playas y Dunas Costeras

En el caso del municipio Tulum, las playas arenosas revisten de una gran importancia debido a que este bien natural consiste en un importante atractivo para los desarrollos turísticos, asimismo constituye un área muy importante para la anidación de las tortugas marinas, en este caso se estableció un área natural protegida para la protección de la zona de anidación de éstas en las playas de Xcacel y Xcacelito, con lo cual se garantiza la protección de las especies que anidan en la zona, se suman además las playas del Parque Nacional Tulum y las de la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an con lo cual se tiene la protección de la mayor parte de las playas arenosas del municipio. Por otra parte los propietarios y hoteleros establecidos han participado en el programa de Protección de la Tortuga Marina, e inclusive han incorporado la anidación de estos quelonios y la liberación de crías como actividades ecológicas de los hoteles.

Debido a que constituyen el primer frente que es afectado por el paso de huracanes y tormentas tropicales, aunado al desconocimiento del comportamiento del transporte litoral en la zona litoral del municipio, resulta en un bien natural de gran fragilidad ya que recibe impactos de tipo natural y también presiones

antropogénicas por su uso, por lo que es importante que se trabaje en estudios sobre transporte litoral de la zona y se evite afectar la estructura de las playas y la vegetación asociada a estas, así como las dunas costeras en aquellos lugares en los que se presenta.

- Anidación de tortugas marinas

En cuanto a la posible afectación del servicio ambiental que prestan las playas para la anidación de las tortugas marinas, estas especies han resistido y se han adaptado a los cambios ambientales a lo largo de su historia evolutiva, por lo que con el establecimiento de áreas naturales protegidas y la participación social en el cuidado de su etapa de desove es posible disminuir la afectación que han sufrido por causas antropogénicas, aunque harán falta más acciones de mitigación para asegurar su sobrevivencia.

Un factor que puede afectar a las tortugas marinas es el hecho de concentrar su anidación en algunas playas, ya que en algunas ocasiones sucede que anidan en playas estrechas y pueden llegar a excavar su nido sobre otro pre existente y afectar a los huevos de la nidada anterior. Uno de los factores naturales que puede afectar la anidación de las tortugas se deriva del paso o impacto de huracanes en las cercanías del municipio, ya que como ocurrió en 2005 con el huracán Emily y posteriormente en 2007 con el paso del huracán Dean cuyos oleajes afectaron fuertemente las playas del municipio y por ende los nidos que se ubicaban en éstas.

- Estabilidad de la porción costera

El cordón litoral y las playas arenosas del municipio de Tulum, presentan por lo general una estabilidad muy buena, ya que en esta zona no ha sido tan notorio el proceso erosivo que ocurre en los municipios de Solidaridad y Benito Juárez, de hecho de acuerdo con los comentarios vertidos por algunos pobladores de Tulum, en algunas partes del litoral ubicado al Sur de las Ruinas de Tulum, en el sector de playa Santa Fe, después del huracán Dean hubo un aporte importante de arena en el litoral que ocasionó la invasión de múltiples propiedades ubicadas en esa zona. Un factor que se considera crucial en la conservación de este servicio ambiental es el mantenimiento de la vegetación de duna costera por lo que se debe promover que en las dunas existentes se mantenga ésta.

- Activo turístico

Las playas representan uno de los principales atractivos turísticos de la Riviera Maya y en particular de Tulum, esta situación se debe al estado de conservación que presentan y al escenario natural que junto con el Mar Caribe y el clima conforman. Debido a la importancia que tienen éstas para el sector turístico y a la conciencia que se tiene de la problemática que implica la afectación de este recurso, no se encontraron en la zona de playa edificaciones afectadas por el mar.

IV.2.9. Humedales

Este es uno de los bienes naturales costeros que cuentan con una serie de regulaciones sobre su uso, y que en el corredor turístico que va de Yalkú al límite Norte del Parque Nacional Tulum está representado principalmente por manglares de tipo arbustivo en donde se ubica una superficie estimada en 1,632.15 hectáreas, estos manglares representan el 28.95 % del total de manglares presentes en el municipio. En la zona costera aledaña a donde se ubican éstos se han desarrollado pocos proyectos y 15 caminos de acceso los atraviesan estos manglares. Estas estructuras no han generado un daño a la vegetación de manglar chaparro, ya que no se aprecian condiciones de deterioro por este motivo, por lo que su estado de conservación bueno.

Por otra parte, el 71.05 % equivalente a 4,006 hectáreas de manglares restantes se encuentran dentro de áreas naturales protegidas federales y estatales, en las que Sian Ka'an cuenta con la mayor superficie con 3,747.16 hectáreas (**Figura 8**), ocupadas principalmente por manglares chaparros. En el Parque Nacional Tulum se registraron 214.74 hectáreas de manglar.

En total en el municipio se reportaron 5,638.15 hectáreas, de las cuales el 71 % están dentro de área naturales protegidas y el 28.95% restante se ubica en predios propiedades privada y con restricciones de manejo. Se considera que continuando con la tendencia de protección de este ecosistema este recurso se mantendrá en buenas condiciones y con la continuidad de su germoplasma.

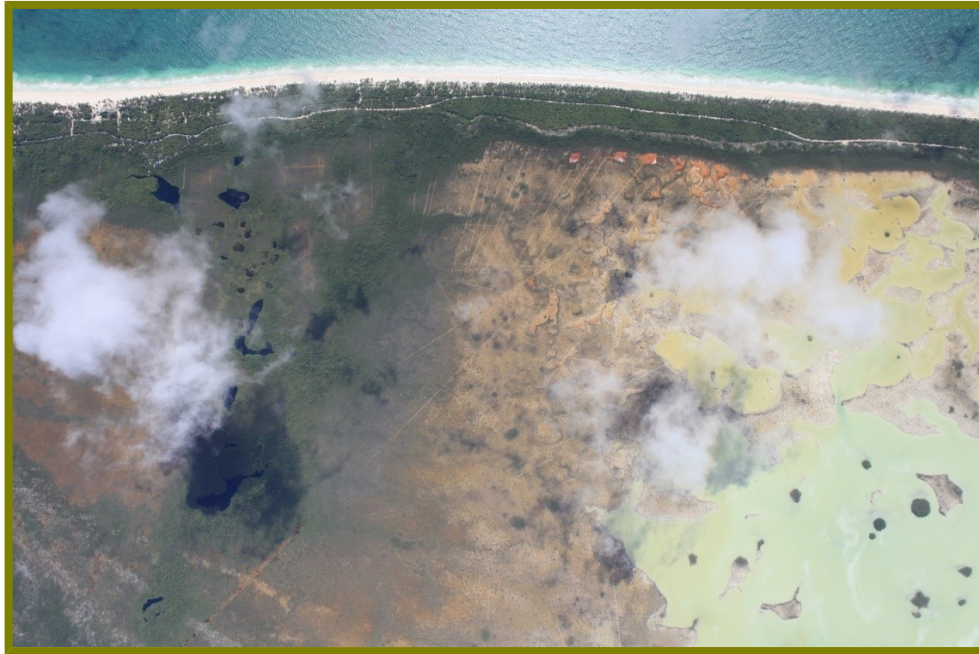


Figura 8.- Manglares dentro de Sian Ka'an.- En la imagen se muestran diferentes estadios del manglar, a la izquierda manglares mixtos de hasta 8 m de altura, al centro manglares chaparros densos y dispersos y a la derecha algunos mogotes dentro de la zona inundada. Foto: SYLVATICA/GGomez/2010

- Zona de reproducción de especies marinas

En el caso de los manglares del municipio este servicio ambiental está más presente en los ubicados en el litoral Oeste de la barra de Punta Allen que colindan con la Ría que comunica con la Bahía de la Ascensión. Ya que ahí existen especies marinas en el manglar, además, de los ubicados en los mogotes e islotes ubicados tanto en la Ría como en la Bahía de la Ascensión. En la mayor parte de los manglares continentales, se presenta un periodo alternado de inundación y sequía que disminuye la posibilidad de sostener poblaciones de peces de manera permanente. Además, en los manglares se presentan por lo general especies secundarias como los cíclidos y algunos poecílidos, que toleran salinidad sin llegar a ser especies marinas.

Debido a que los manglares que prestan este servicio se encuentran dentro de Sian Ka'an se considera que el escenario tendencial para este servicio ambiental será de mantenimiento de las condiciones naturales y sujetos al comportamiento de las variables climáticas de la zona.

- Biofiltro

En este caso el servicio ambiental de Biofiltro se refiere a la retención de sustancias y materia orgánica disuelta o particulada que se encuentra en el agua y que de acuerdo con las funciones que se le han atribuido a los manglares, éstos las retienen o las absorben devolviendo aguas limpias y sin contaminantes.

En este sentido, sólo los manglares que tienen contacto con aguas salinas de la Ría y la Bahía de la Ascensión prestan este servicio, ya que sólo en las zonas donde se llega a presentar un escurrimiento de agua del continente al mar, es donde existe un arrastre y la función de Biofiltro puede ser realizada, se considera que este servicio se mantendrá sin cambios dado que los manglares en esta condición se ubican dentro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. En el caso de los manglares de cuenca endorreica ubicados en los predios propiedad privada, en los que el agua no fluye fuera de la cuenca sino que se acumula durante la época de lluvia y se evapora paulatinamente en la época de secas, este servicio ambiental es prácticamente nulo.

- Zona expulsora de nutrientes

Al igual que en el caso anterior el servicio ambiental de los manglares como zonas de exportación de nutrientes hacia los ecosistemas adyacentes, está limitado al igual que en el servicio anterior a los manglares ubicados en las zona cercanas a la Bahía de la Ascensión o la Ría que se ubica al Oeste de la barra de Punta Allen, ya que sólo en esos sitios es posible el transporte de nutrientes y taninos hacia las aguas marinas, también se presenta el servicio en la llanura de inundación que se muestra en la **Figura 4**, ya que el agua viaja en dirección Norte a Sur, y realiza un ligero arrastre hacia la Ría. Sólo en esos casos se presenta este servicio y como se ubican dentro de un área natural protegida federal se considera que el servicio persistirá de manera permanente.

- Formadores de tierra firme

Los manglares por el efecto que producen al reducir el flujo del agua y por la capacidad que tienen de generar una gran cantidad de raíces aéreas, poco a poco van ganando terreno a las zonas inundadas y paulatinamente generan áreas emergidas que poco a poco se convierten en tierras emergidas. Dando paso a una sucesión ecológica con el establecimiento de vegetación de transición o ecotono y posteriormente a vegetación de selva, este proceso se observa claramente en la formación de petenes, los que se desarrollan en zonas inundables y poco a poco el manglar se va sustituyendo con especies de selva formando islotes de selva en los pantanos. En otros casos en las áreas ocupadas por manglares comienza a la proliferación de zacates que paulatinamente se transforman en marismas de

zacates. Este proceso es muy lento y en el municipio de Tulum las manifestaciones más comunes son los mogotes en la Bahía de la Ascensión y los Petenes.

- Activo ecoturístico

Los manglares representan un atractivo para el desarrollo de productos ecoturísticos por lo que este servicio ambiental es factible de ser utilizado en la zona, un ejemplo de cómo se puede realizar el uso sustentable de esta vegetación como atractivo turístico se puede observar en el ANP de Xcacel y Xcacelito, en donde al visitar un cenote se cruza por una zona ocupada por manglares (**Figura 9**), dando una vista única y una experiencia de aventura que impacta gratamente a los visitantes.



Figura 9.- Sendero a través del manglar.- Vista del sendero que conduce al cenote de Xcacel. Este es un ejemplo de cómo se pueden integrar los manglares al ecoturismo.

En la actualidad son pocos los servicios turísticos o ecoturísticos que aprovechan la belleza escénica de algunos manglares por lo que este servicio ambiental esta subutilizado.

IV.2.10. Conclusiones en cuanto al deterioro de bienes y servicios ambientales

Se considera que en la superficie del municipio de Tulum, los bienes y servicios ambientales han presentado modificaciones de dimensiones reducidas, ya que el cambio general de la cobertura de la vegetación a lo largo del tiempo representa pequeñas áreas que no rebasan el 6 % de la superficie municipal, por el contrario se registró una notable reconversión de la vegetación, particularmente en la reducción de los usos agrícolas, y un proceso de sucesión ecológica en la que zonas con vegetación secundaria tiende hacia un estado de vegetación primaria, gracias a la resiliencia de la vegetación de selva y a que se ha reducido la presión por el uso agrícola, particularmente en el sector suroeste del municipio.

En cuanto a los bienes como el sustrato calizo, y el acuífero se detectan algunas afectaciones que a escala municipal se pueden considerar puntuales ya que no se registraron condiciones generalizadas de afectación a éstos, sin embargo es preocupante la presencia de impactos derivados de la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos, y el manejo indiscriminado de cenotes y cuevas inundadas, para los que se deben aplicar medidas tendientes a la reducción y eventualmente a la corrección total de estas causas de deterioro.

En lo referente a las playas y los humedales, son los bienes ambientales en los que la presión por el desarrollo turístico tiene una influencia directa y que sin embargo han permitido la continuidad de su presencia y las afectaciones son de escala reducida en función de las afectaciones detectadas hasta la fecha, por ejemplo los manglares de cuenca endorreica que se ubican en la zona costera Norte del municipio aun cuando presentan caminos de acceso a la playa, algunos con más de 30 años de establecidos no han propiciado la degradación de los manglares, y en el caso de las playas se mantienen los servicios ambientales, en particular el relativo a la anidación de las Tortugas Marinas ya que año con año se mantiene la anidación de estas especies.

IV.3. LOS PROCESOS DE PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL, DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS Y DE ESPECIES SUJETAS A PROTECCIÓN.

IV.3.1. Pérdida de cobertura vegetal

De acuerdo con los resultados del análisis de la vegetación realizado se tiene que las selvas del municipio presentan un mosaico de sucesiones de vegetación secundaria con diferentes antigüedades, la tendencia que se ha detectado en el análisis de pérdida de vegetación es la de una reducción de la frontera agrícola, que incrementa las áreas con vegetación secundaria, esto se aprecia claramente en la (**Figura 10**) en la que se muestra la zona agrícola cercana a Chanchen I en los años 2005 y 2009. Además, no ha habido incendios forestales grandes desde hace más de 30 años por lo que las zonas afectadas con anterioridad se encuentran en etapa de sucesión.

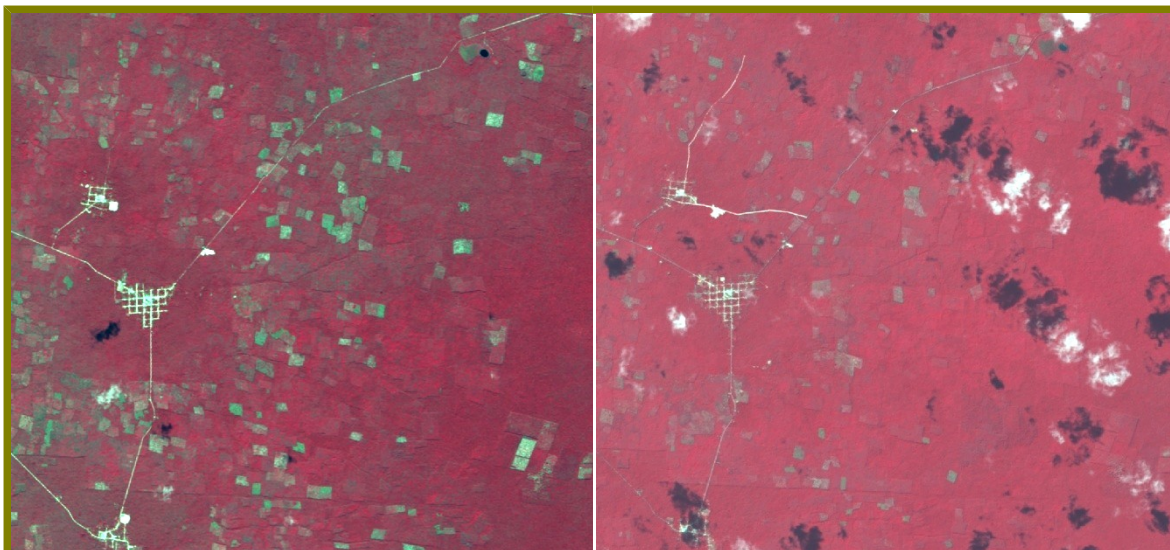


Figura 10.- Comparativo zonas agrícolas.- La imagen izquierda corresponde a mayo de 2005 y la imagen derecha a febrero de 2009, como se puede apreciar hay una notable reducción de las áreas bajo aprovechamiento agrícola en el sector donde se ubica el poblado de Chanchen I.

En la zona Sur del municipio por el contrario, se identificaron cambios en la cobertura, debido a la apertura de áreas a la agricultura, principalmente en el ejido Tulum, particularmente en los terrenos cercanos a la carretera que conduce a Felipe Carrillo Puerto. El incremento de esta superficie no resulta significativo ante la reducción de las áreas agrícolas ubicadas en el Oeste del municipio. Entre los cambios más permanentes, se consideran las áreas que se incorporaron al crecimiento urbano de la ciudad de Tulum, (**Figura 11**), superficies reguladas por el programa director urbano vigente.

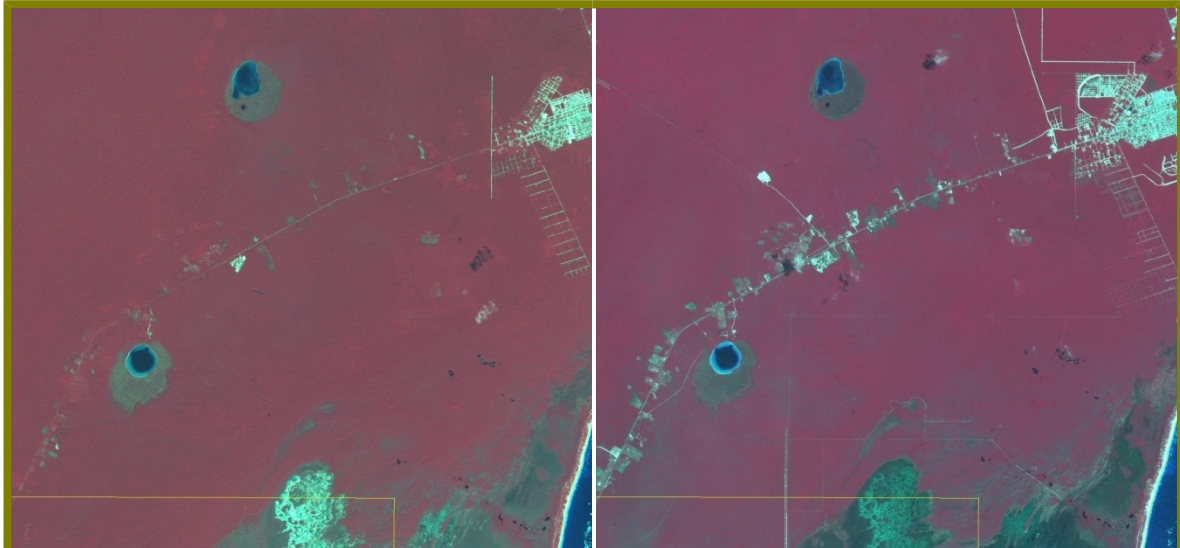


Figura 11.- Comparativo Zona Sur.- En la imagen izquierda se muestra el estado de la zona en 2005 y en la imagen derecha la correspondiente a 2009, como se puede apreciar existe un incremento de áreas desmontadas en los predios aledaños a la Carretera Federal 307, que lleva a Felipe Carrillo Puerto.

Con base en lo antes expuesto se considera que el proceso de pérdida de vegetación en el municipio de Tulum consiste en una serie de cambios de estadio en la vegetación de Selva Mediana Subperennifolia, en la que se considera que esta vegetación presenta una resiliencia tal que le permite recuperarse de afectaciones como desmontes e incendios forestales ya que la cobertura de la vegetación se mantiene, los cambios permanentes en cuanto a la pérdida de vegetación son aquellos generados por el proceso de urbanización y desarrollo de proyectos turísticos, ya que impiden la restauración natural de la vegetación.

El cambio de uso del suelo en las zonas ejidales a lo largo de la carretera 307 Reforma Agraria-Puerto Juárez y la carretera a Coba, derivado de la venta de terrenos o parcelas para transformar los terrenos forestales en usos suburbanos bajo el esquema de fraccionamientos “ecológicos” puede ser una causa de deterioro del ecosistema Selva.

Se realizó la estimación de la afectación ocasionada por el desarrollo de los centros urbanos de Tulum, Chemuyil y la parte del poblado de Akumal, con la finalidad de conocer el área impactada por el desarrollo urbano y turístico en el municipio hasta la fecha.

En este municipio se registró un comportamiento diferente al que se presenta en los municipios ubicados al Norte (Solidaridad y Benito Juárez) ya que en este caso el crecimiento de los proyectos turísticos se ha centrado en el desarrollo de pequeños

hoteles en superficies reducidas, con instalaciones rústicas que requieren poco personal para su operación.

En términos generales la pérdida de cobertura vegetal en el municipio es reducida, ya que debido a que los principales cambios que se registran en el estado de la vegetación se deben a la actividad agrícola, la cual afecta de manera temporal la cobertura de la vegetación de Selva Mediana Subperennifolia, la que por la capacidad de resiliencia le permite reestructurarse y regenerarse con el paso del tiempo. En la **Tabla 2** se presenta el análisis de las superficies de vegetación con base en la comparación de imágenes de satélite LANDSAT.

Tabla 2 Tasa de cambio neto de las superficies con vegetación y uso del suelo. Se presenta un comparativo de 1988 a 2004 para el municipio de Tulum.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	Superficie		CAMBIO NETO	TASA DE CAMBIO
	1988	2004		
Vegetación Primaria	100,364.48	113,122.64	12,758.16	0.02422
Vegetación Secundaria	71,279.36	68,457.25	-2,822.11	-0.00805
Agricultura	14,210.66	3,839.04	-10,371.62	-0.23030
Manglar	5,439.33	5,698.86	259.53	0.00937
Sin Vegetación	4,048.17	4,326.93	278.76	0.01341
Tular	2,424.25	2,321.87	-102.38	-0.00859
Agua	6,327.75	6,327.41	-0.34	-0.00001
TOTALES	204,094.00	204,094.00		

De acuerdo al análisis realizado, La vegetación primaria se incrementó ya que se incorporaron 12,758.16 hectáreas. En este análisis es notable la reducción de la superficie bajo uso agrícola, la que pasó de 14,210.66 hectáreas a 3,839.04 Has. Lo que refleja la reducción del horizonte agrícola, mismo que se ha mantenido, ya que en el anuario 2010 la SAGARPA reporta 3,623² hectáreas. Los manglares presentan un ligero incremento y en el caso de los Tulares reflejan una pérdida de superficie, en términos generales la cobertura de la vegetación puede presentar ligeros cambios en función de las sucesiones ecológicas que se presentan en la naturaleza, sin embargo la cobertura vegetal se mantiene e inclusive se ha incrementado. En el único caso que se describe una pérdida real de la cobertura vegetal en una escala humana es en el incremento de las superficies si vegetación, mismas que corresponden al establecimiento y crecimiento de los centros urbanos y desarrollos turísticos ya que en el análisis realizado se identificó un incremento de 278.76 hectáreas en el periodo evaluado.

² http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp

Con la finalidad de identificar la superficie que involucró el desarrollo que se tiene hasta la actualidad, se identificaron las superficies ocupadas por los centros urbanos del municipio y se evaluó la tasa de crecimiento de sus superficies, lo que se utilizará como elemento para la proyección del crecimiento urbano en este escenario

IV.3.2. Degradación de Ecosistemas

En el caso del municipio de Tulum no obstante que la historia de desarrollo en la zona inició hace 1,500 años aproximadamente, cuando la cultura Maya ocupaba los territorios de Coba, Xel Ha, Tankah, Tulum y Muyil, época en la que la demanda de recursos naturales ejerció una presión considerable para sostener a una creciente población, y generó alteraciones en los ecosistemas, principalmente en la Selva Mediana Subperennifolia que era la zona en donde se asentaban principalmente.

Se estima que la superficie de la ciudad maya de Coba tenía más de 50,000 pobladores y abarcaba una superficie aproximada de 80 km² lo que seguramente tuvo un notable impacto sobre los recursos naturales y los servicios ambientales que estos prestaban. Las evidencias del aprovechamiento pasado prácticamente han sido borradas, ya que los ecosistemas se regeneraron con el paso del tiempo y en la actualidad se tiene un municipio con una cobertura vegetal muy extensa.

De acuerdo con el análisis realizado se calcula que para 2009 existían unas 5,000 hectáreas sin vegetación en el municipio de Tulum, lo que representa un 2.44% de su superficie, este dato indica que el municipio presenta afectaciones permanentes muy reducidas en comparación con los municipios ubicados al Norte.

En lo referente al ecosistema de manglar que existe en el municipio se considera que al igual que en el caso de las selvas, éstos presentan un estado de conservación bueno, no obstante que el grado de desarrollo que presentan es bajo, ya que los mangles en casos excepcionales alcanzan más de cuatro metros de altura. Por lo general los manglares son de tipo chaparro con alturas promedio de un metro.

Como quedó asentado en la Caracterización del Municipio los manglares ocupan unas 5,638.15 hectáreas que corresponden al 2.79 % de la superficie de Tulum, debido a la serie de regulaciones establecidas para los manglares, esta vegetación prácticamente es intocable por lo que la tendencia en este recurso es la de conservación

IV.3.3. Especies sujetas a protección.

Se considera que se ejercerá una presión ligera sobre las poblaciones de especies de flora incluidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (**Tabla 3**) que se desarrollan dentro de los polígonos de los centros urbanos. Se considera sin embargo que es posible mitigar su afectación mediante la aplicación de programas de rescate, mantenimiento y reintroducción de vegetación, con especial énfasis en las especies incluidas en esta Norma.

Tabla 3. Especies vegetales incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas en el Municipio.

FAMILIA	ESPECIE	ESTATUS DE PROTECCIÓN
Arecaceae	<i>Thrinax radiata</i>	Amenazada
	<i>Coccothrinax readii</i>	Amenazada, endémica
	<i>Pseudophoenix sargentii</i>	Protección especial
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i>	Amenazada
Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Amenazada
Cactaceae	<i>Aporocactus flageliformis</i>	Peligro de extinción, endémica
Nolinaceae	<i>Beaucarnea plabilis</i>	Amenazada, endémica
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Protección especial
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Protección especial
	<i>Conocarpus erecta</i>	Protección especial
Verbenaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Protección especial
Zamiaceae	<i>Zamia loddigesii</i>	Amenazada

En lo que respecta a los manglares se considera que las cuatro especies incluidas en la Norma no serán afectadas en el futuro, debido a que existe un marco regulatorio que garantiza la integridad de los manglares, por lo que no se pueden afectar las superficies ocupadas por esta vegetación. De esta manera se espera que las 5,638.15 hectáreas ocupadas por estas especies se mantengan a largo plazo.

En lo referente a las especies de fauna registradas en la Norma, se considera que de las 82 especies registradas en la Caracterización del Municipio el grupo de las Aves y Mamíferos cuentan con la capacidad de alejarse de las áreas que se afecten por el desarrollo urbano y de proyectos del municipio. En el caso de los reptiles y anfibios se considera que son las especies en las que se puede presentar una afectación, derivado de su lento desplazamiento, esta afectación puede ser mitigada mediante la aplicación de programas de rescate y reubicación de la fauna, en particular de las especies de lento desplazamiento en los sitios donde se desarrollen proyectos urbanos y turísticos.

Particularmente en el caso de las tortugas marinas se considera que sus poblaciones no se verán afectadas por el desarrollo que se presente en la zona en los próximos

años, debido a la política de protección de la especie y por la aplicación del programa de protección de la Tortuga Marina que se realiza año con año en la zona.

El grupo de especies Estigobias (**Tabla 4**), puede presentar la afectación de las poblaciones de las especies registradas, ya que éstas son poco abundantes, son muy sensibles a la contaminación y el contacto humano, por lo que el uso indiscriminado de los sistemas de cuevas inundadas pueden estar ocasionando su pérdida paulatina.

Tabla 4. Especies estigobias incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

ESPECIES ESTIGOBIAS				
Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Categoría	Endémica
Heptapteridae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Juil de cenote	Protección especial	Si
Bythitidae	<i>Ogilbia pearsei</i>	Dama blanca ciega	Peligro de extinción	Si
Synbranchidae	<i>Ophisternon infernale</i>	Anguila ciega yucateca	Peligro de extinción	Si
Atyidae	<i>Typhlatya mitchelli</i>	Chacales	Amenazada	
Atyidae	<i>Typhlatya pearsei</i>	Camaroncillo	Amenazada	
Cirolanidae	<i>Creaseriella anops</i>	Cochinilla de playa	Amenazada	
Mysidae	<i>Antromysis cenotensis</i>	Misidaceo	Amenazada	Si
Palaemonidae	<i>Creaseria morleyi</i>	Langostino	Amenazada	

IV.4. LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

IV.4.1. Disponibilidad de Agua

De acuerdo con el cuarto informe de evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés³) el calentamiento del sistema climático es inequívoco, lo que se observa tanto en los incrementos de los promedios globales de las temperaturas del aire y de los océanos, como en el detrimento de nieve y hielo y en la elevación del nivel medio del mar (Conde et al. 2008). Por lo anterior resulta importante en el planteamiento de políticas públicas y esquemas de desarrollo el considerar los efectos que dichos cambios causaran en la sociedad así como en el medio natural a escalas regionales y locales.

De acuerdo con el AR4, la temperatura global ha aumentado 0.74 °C en los últimos 100 años y la tendencia de calentamiento de los últimos 50 años es de 0.13 grados por década. Con la finalidad de prevenir los posibles impactos de la tendencia climática global el IPCC ha propuesto diversas proyecciones de cambio climático basadas en las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero que serían producidos por distintos escenarios de desarrollo socioeconómicos globales. Asimismo, un recurso de suma utilidad para el estudio del clima son los Modelos de Circulación General (GCM por sus siglas en inglés) de la Atmósfera y Océanos Acoplados que llegan a ser 24 de acuerdo con lo reportado en el AR4.

Dichos modelos poseen resoluciones espaciales variadas que se han afinados con el transcurso de las investigaciones. Los resultados obtenidos por estos GCM's, cuando se aplican en condiciones de cambio climático, particularmente para el caso en que la concentración de gases de efecto invernadero se viera duplicada, dan lugar a la construcción de escenarios de cambio climático para diversas variables y diferentes horizontes. De acuerdo a Conde et al. (2008) normalmente los estudios del cambio climático utilizan distintos modelos del clima y un conjunto de escenarios de emisiones para reflejar el rango de incertidumbre causado por las diferentes suposiciones que se adoptan en cuanto al cambio de las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio tecnológico, población, tipo y grado de desarrollo económico, entre otros. Existen dos grandes escenarios descritos por el IPCC, los primeros denominados “escenarios A” describen un mundo futuro con alto crecimiento económico mientras que en los denominados “escenarios B” ese crecimiento se manifiesta más moderado. En la **Figura 12** se presenta un esquema

³ ICPP-WGI, 2007. Summary for Policymakers In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assesment report of the intergovernmental panel on climate change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Zenhen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 23 pp.

descriptivo en los que aparecen además los escenarios en los que se considera crecimiento global contra un crecimiento regional.

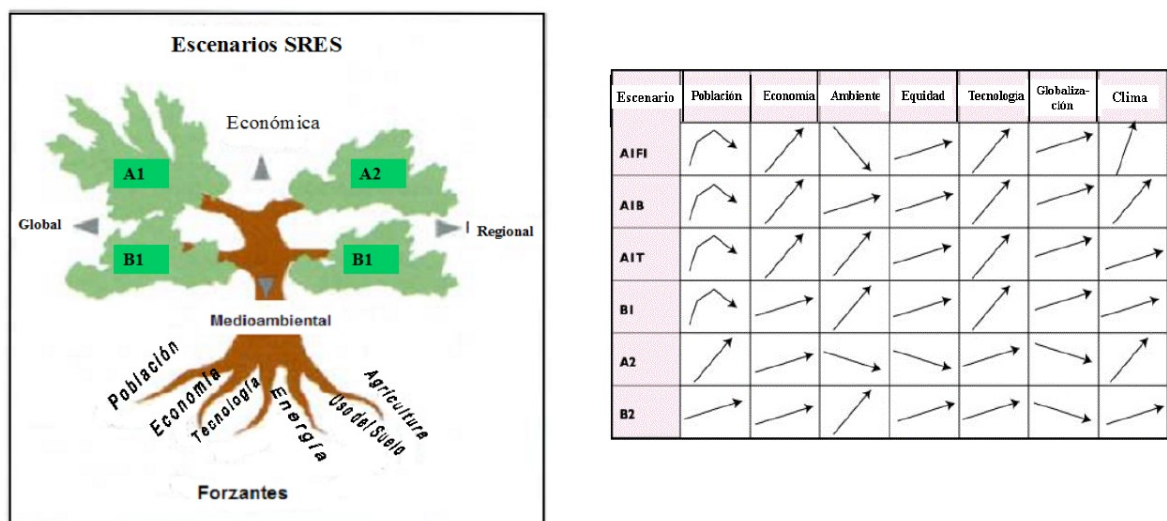


Figura 12. Escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC .-Los escenarios A plantean un alto crecimiento económico, por el contrario los escenarios B plantean un crecimiento más moderado. El subíndice 1 representa un crecimiento económico global, mientras que el subíndice 2 representa un crecimiento económico regionalizado.

Como se mencionó anteriormente los escenarios descritos son utilizados como base en el planteamiento de proyecciones en conjunto con los resultados de los GCM's. En la **Figura 13** se muestran las proyecciones obtenidas de los modelos generales de circulación de la atmósfera bajo los distintos escenarios de cambio climático

Para la fase pronóstico del programa de ordenamiento ecológico local del municipio de Tulum se planteó como indispensable la inclusión del efecto del cambio climático en el territorio municipal, para lo cual fueron considerados los escenarios A1 y A2 propuestos por el IPCC. Fueron seleccionados estos escenarios en particular debido a que son los que presentan la estimación de incrementos de temperatura más elevados para el presente siglo, y aunque no necesariamente son los escenarios más probables, permiten realizar una planeación y conjunción de estrategias basadas en un principio precautorio.

En primer lugar fueron determinados los rangos de temperatura y precipitación que se manifiestan actualmente en el municipio de Tulum lo cual sirve como escenario base de comparación. Los insumos para la generación de dicho escenario se obtuvieron a partir de la base de datos BIOCLIM⁴, la cual fue comparada y ajustada

⁴ www.worldclim.org/bioclim

con los registros de las estaciones locales de la Comisión Nacional del Agua en el municipio de Tulum y los datos del ERIC III⁵.

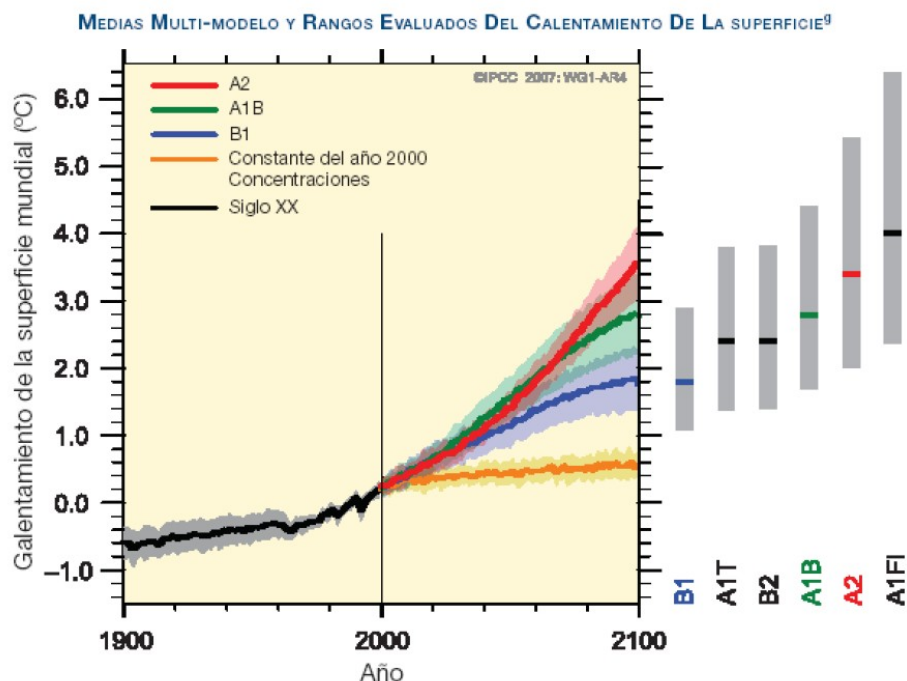


Figura 13. Cambio de la Temperatura.- Las líneas continuas muestran los promedios de cambio en la temperatura global obtenidos mediante varios modelos de simulación climática. La línea naranja muestra el incremento en la temperatura global que se produciría si se mantuvieran constantes las emisiones de gases de efecto invernadero a niveles del año 2000.

Los resultados de los GCM's arrojan que para la región donde se encuentra el municipio de Tulum se prevé una disminución de la precipitación en un rango de anomalía de 3.988% a 4.027% bajo el escenario A1 (**Figura 14**), para el periodo 2010-2039, mientras que bajo el escenario A2 la disminución será de 5.893% a 6.489% para el mismo periodo.

En cuanto a la temperatura, la región donde se encuentra el municipio de Tulum presenta un incremento en la temperatura media anual de 0.766 °C de acuerdo con las anomalías arrojadas por los GCM's bajo el escenario A1 (**Figura 11**). Mientras que el las anomalías bajo el escenario A2 reportan un aumento de la temperatura de 0.7 °C.

⁵ Extractor Rápido de Información Climática, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

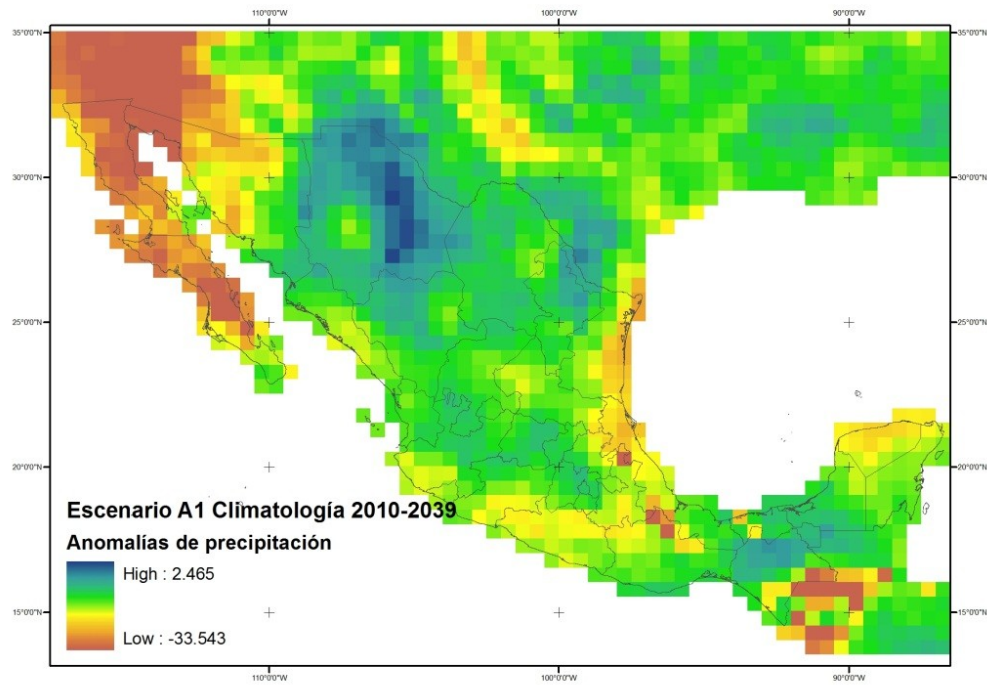


Figura 14. Anomalías de precipitación para el periodo 2010-2039 bajo el Escenario A1.

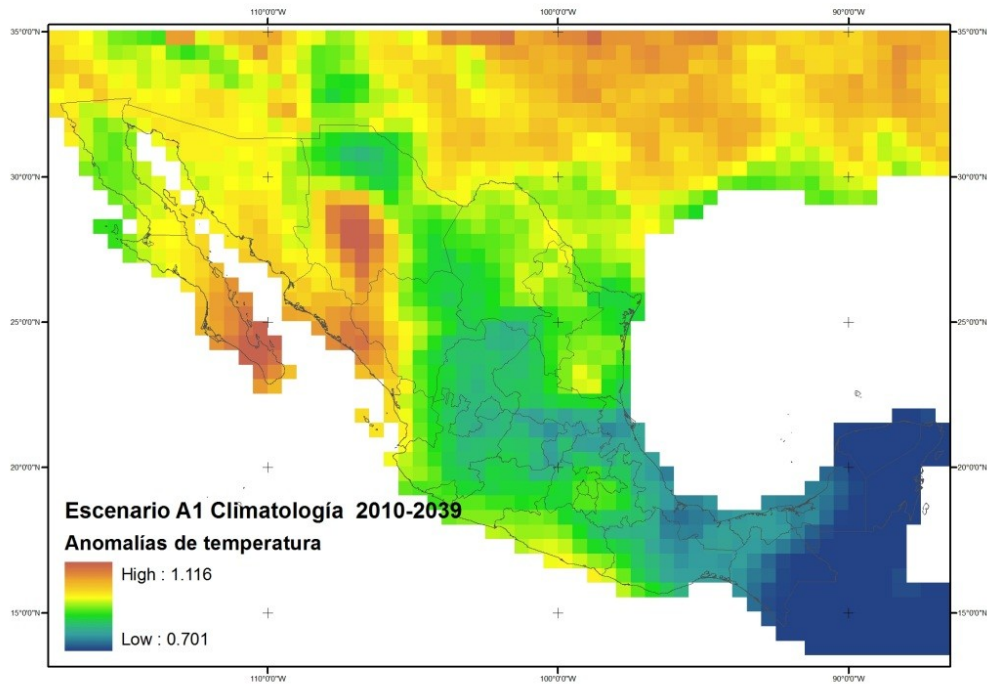


Figura 15. Anomalías de temperatura para el periodo 2010-2039 bajo el Escenario A1.

La cantidad de agua de precipitación y la marcha mensual de la temperatura son parámetros meteorológicos que inciden directamente en la disponibilidad de agua media anual. Por lo tanto cualquier aumento o disminución en dichos parámetros traerá como consecuencia un cambio en el balance hidrológico de cualquier región.

De acuerdo con el método establecido en la NOM-011-CONAGUA-2000 la determinación de la disponibilidad de agua media anual se lleva a cabo mediante la siguiente expresión:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS$$

Donde

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

Rt = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

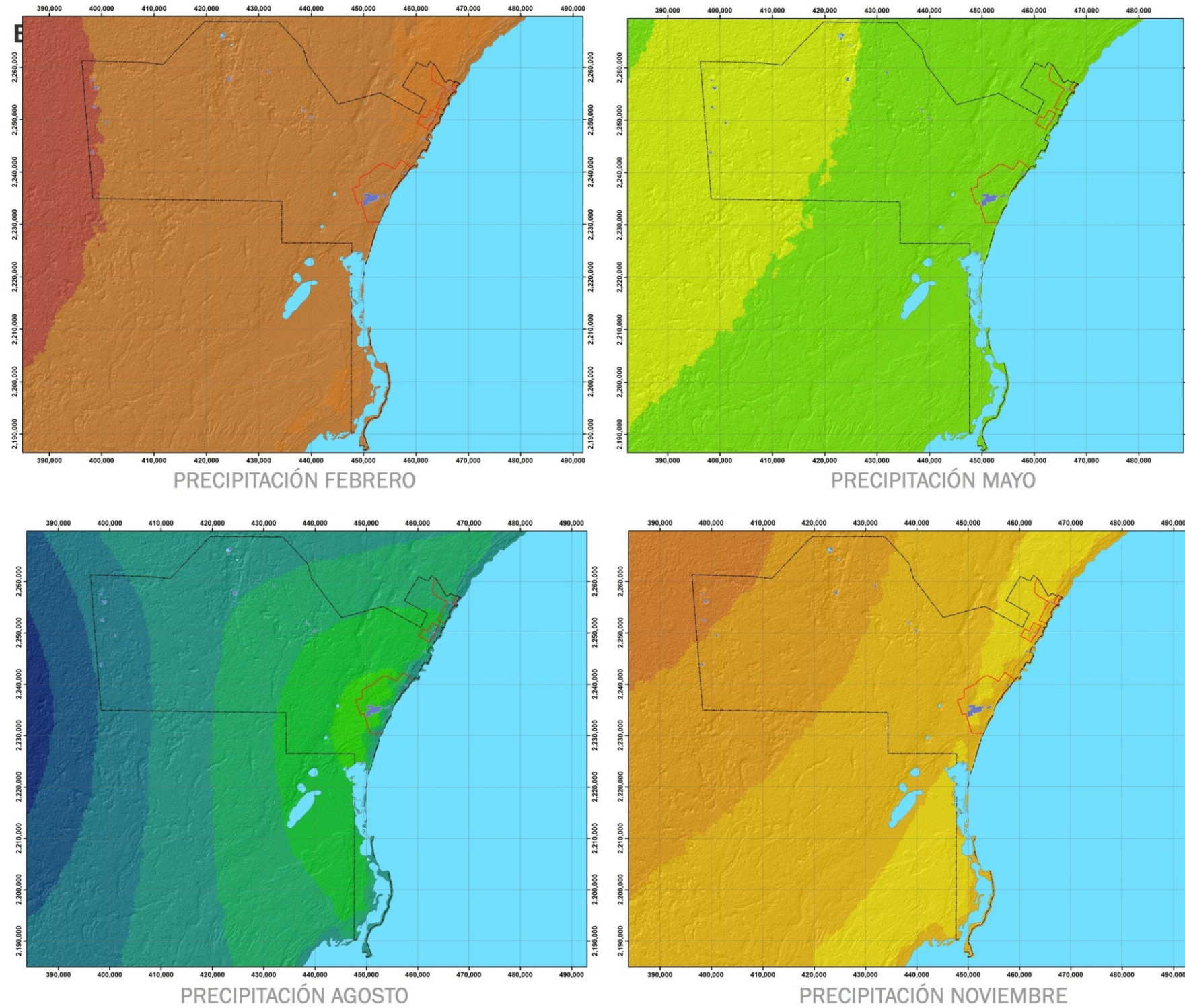
VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA.

Sin embargo, para fines de este apartado, el impacto del cambio climático que podrá tener el municipio de Tulum se determinó considerando las variaciones temporales de la recarga total media anual, cuyo cálculo consideró las variables precipitación (Pr), evapotranspiración potencial (ETP) y escurrimiento superficial (Esc), a través de la siguiente expresión:

$$Rt = Pr - ETP - Esc$$

Para cada una de las variables fueron calculadas en consideración de las variables históricas extraídas de la base de datos mundial WorldClim (1950-200) y los ensambles de los modelos generables de circulación de la atmósfera en cada uno de los escenarios SRES. Dichos datos se encuentran disponibles y procesados a mayor detalle en el atlas climatológico del Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

En la **Figura 16** se muestra la variación de la precipitación actual en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre, principales insumos para el balance hidrológico bajo los escenarios A1 y A2. A continuación se presentan los climogramas que hacen referencia a la precipitación media anual observada a la fecha (**Figura 17**) y los estimados bajo los escenarios de cambio climático A1 y A2. La precipitación media anual observada es de 1,146 mm, mientras que el escenario A1 arroja una precipitación media anual en el municipio de 1099.6 mm (**Figura 18**), y bajo el escenario A2 dicha precipitación es de 1,075.4 mm, (**Figura 19**)



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



PRECIPITACIÓN OBSERVADA

Rangos de precipitación

- 30mm - 40mm
- 40mm - 50mm
- 50mm - 60mm
- 60mm - 70mm
- 70mm - 80 mm
- 80mm - 90 mm
- 90mm - 100mm
- 100mm - 110mm
- 110mm - 120mm
- 120mm - 130mm
- 130mm - 140mm
- 140mm - 150mm
- 150mm - 160mm
- 160mm - 170mm
- 170mm - 180mm

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la base de datos mundial BIOCLIM.



Datum.....WGS84
Sistema de coordenadas.....UTM
Zona UTM.....16N Q

Escala de trabajo 1:50,000

Figura 16. Variación en la precipitación observada en el municipio de Tulum para los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre.

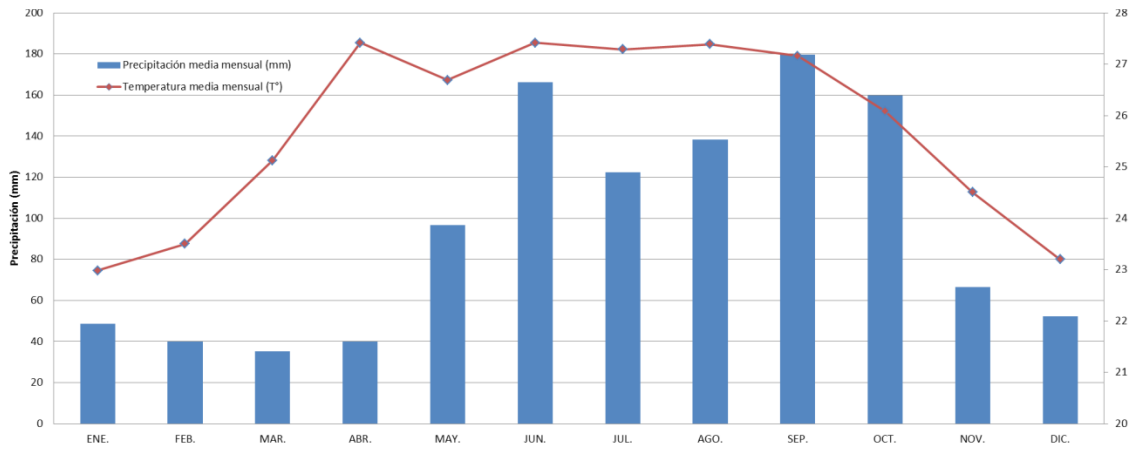


Figura 17. Climograma de la precipitación observada de acuerdo con los datos de la CONAGUA.

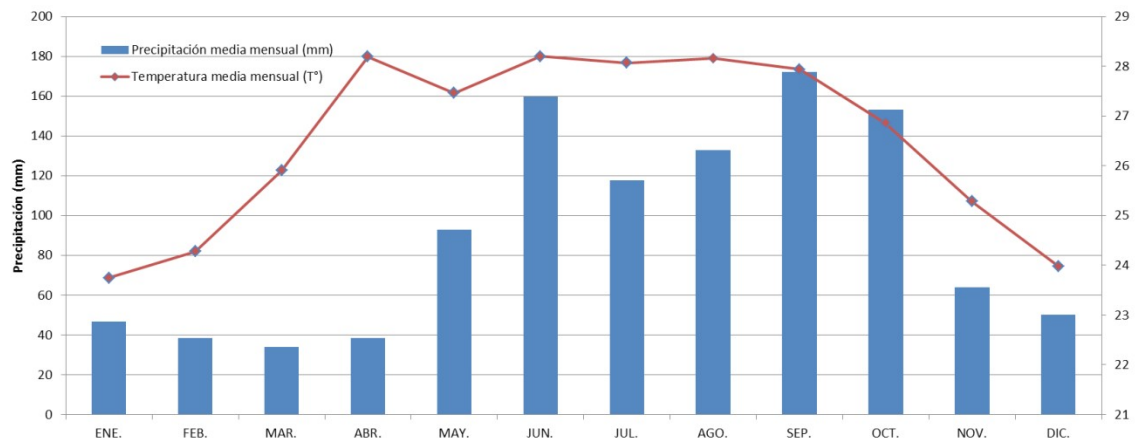


Figura 18.- Climograma de la precipitación media mensual para el periodo 2010-2039 bajo el Escenario A1.

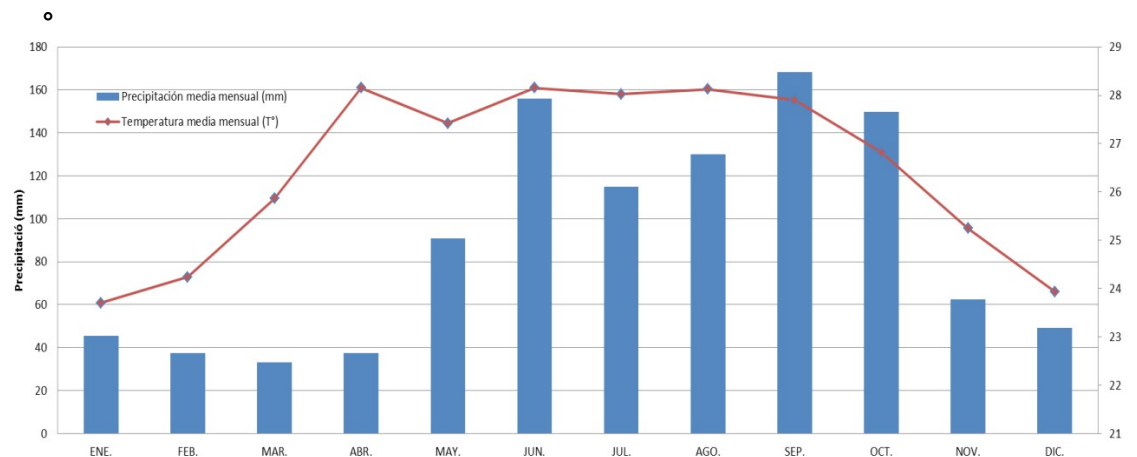


Figura 19.- Climograma de la precipitación media mensual para el periodo 2010-2039 bajo el Escenario A2.

El balance hidrológico calculado muestra que la recarga total media anual se verá disminuida bajo ambos escenarios de cambio climático. En el escenario A1 el rango de recarga media en todo el municipio va de los 0 mm en cuerpos de agua abiertos hasta los 264 mm en las zonas con menor escurrimiento y evapotranspiración. En el escenario A2 el comportamiento se muestra similar, manifestando una recarga de 0 mm en cuerpos de agua abiertos a 249.6 mm en las zonas con menor escurrimiento y evapotranspiración. El valor de 0 mm para los cuerpos de agua se obtiene por omisión debido a que la precipitación de estos se encuentra expuesta al efecto de evaporación directa y el nivel de agua presente en dichos cuerpos también está en función de la variación de los flujos hidrológicos subterráneos externos al área de estudio.

La variación de la recarga total media anual de agua derivada de la disminución de las precipitaciones por efecto del cambio climático, repercute no sólo en posibles problemas de abasto de agua potable, sino también en un detrimento de su calidad, puesto que al disminuir el flujo de recarga del lente de agua dulce la presencia de intrusión salina, por lo menos en la zona costera, podrá ser mucho mayor.

Cabe mencionar que el cálculo de la recarga total media natural de agua se realizó con base en lo establecido en la NOM-011-CONAGUA-2000, sin embargo no fue considerado el volumen anual de importaciones, el cual representa el volumen de agua que ingresa al territorio municipal por medio del flujo subterráneo, ni el volumen de extracción, esto debido a que dicho volumen se considera constante a razón de no tener una estimación precisa de su variación en el tiempo por influencia directa del cambio climático.

A continuación se muestran las tendencias de disponibilidad de agua en los escenarios (**Figura 20**) y los mapas de disponibilidad de agua media anual en el municipio de Tulum bajo escenarios de cambio climático (**Figuras 20, 21 y 22**).

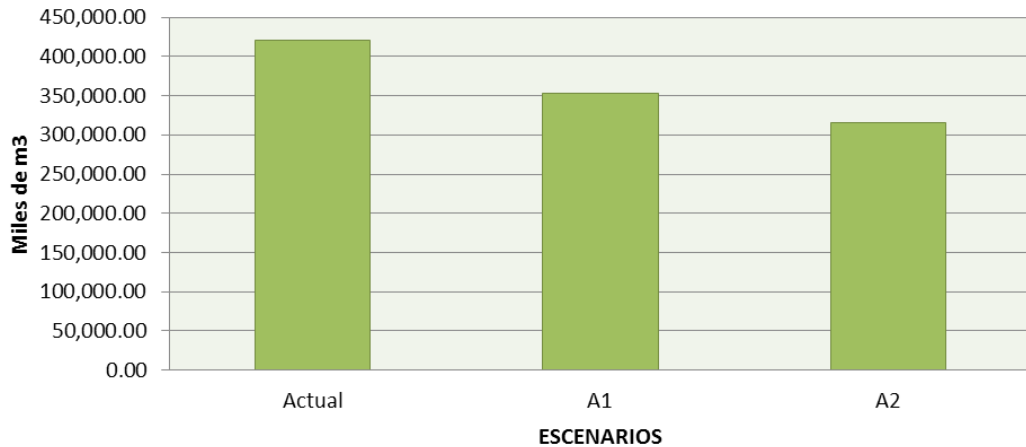
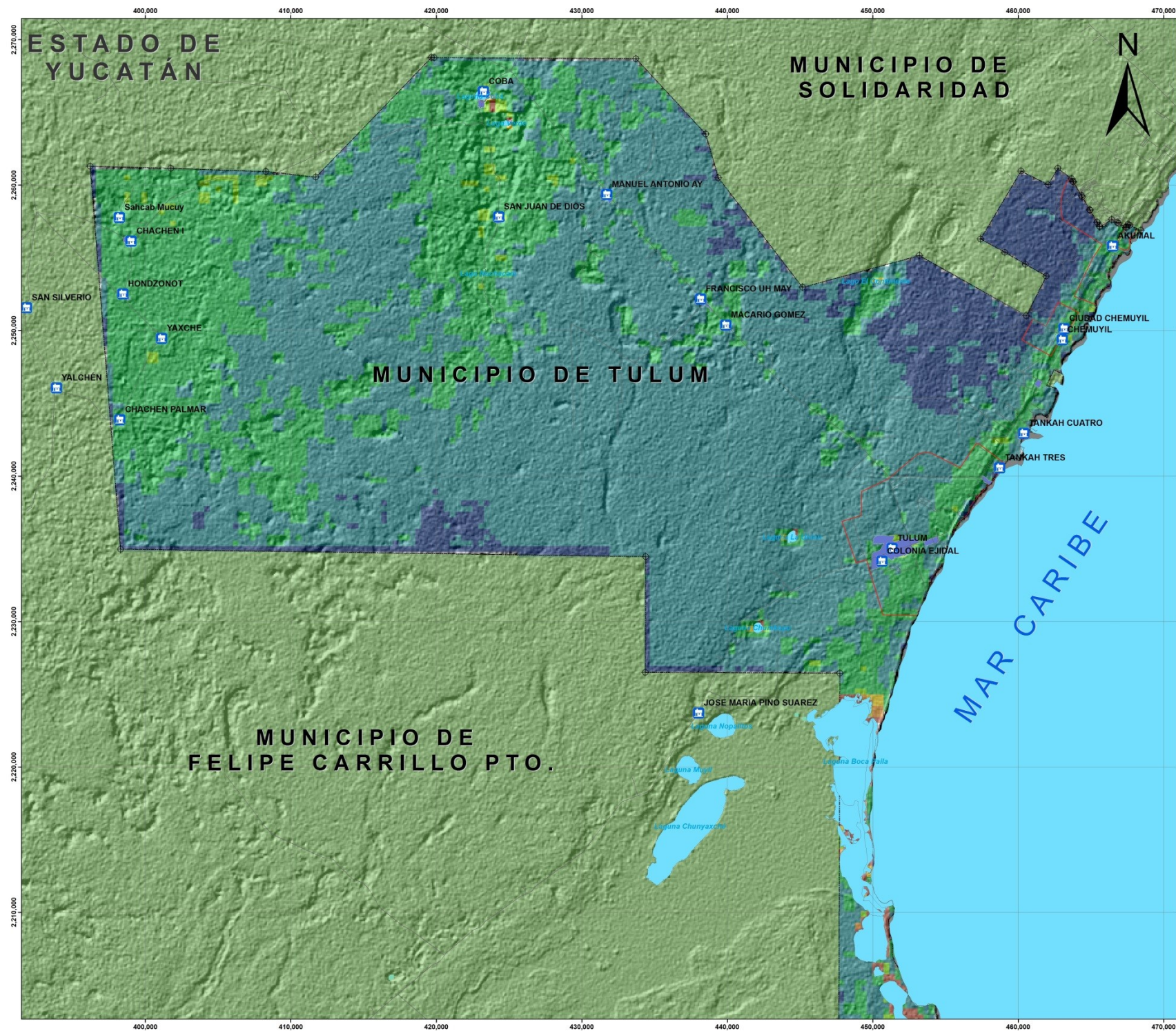


Figura 20.- Disminución de la disponibilidad de agua de acuerdo al balance hidrológico bajo escenarios de cambio climático.

o

De acuerdo con el balance hidrológico establecido bajo los diferentes escenarios de cambio climático, la recarga total media anual en el municipio bajo el escenario A1 será de 353,100,910 m³/año, mientras que los resultados obtenidos con el escenario A2 señalan que la recarga total media anual será de 315,998,910 m³/año. Que comparados con la recarga total media actual (420,635,660 m³/año) se tiene que se verá disminuida la cantidad de agua disponible de forma natural en el municipio, sin considerar el volumen de importaciones, entre un 16.06% y un 24.88% respectivamente.



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



BALANCE HÍDRICO ACTUAL

Disponibilidad (mm/m2)

- 0mm
- 0mm - 50mm
- 50mm - 100mm
- 100mm - 150mm
- 150mm - 200mm
- 200mm - 250mm
- 250mm - 305mm

Los datos de precipitación fueron obtenidos de la base de datos mundial BIOCLIM.

ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:18,598

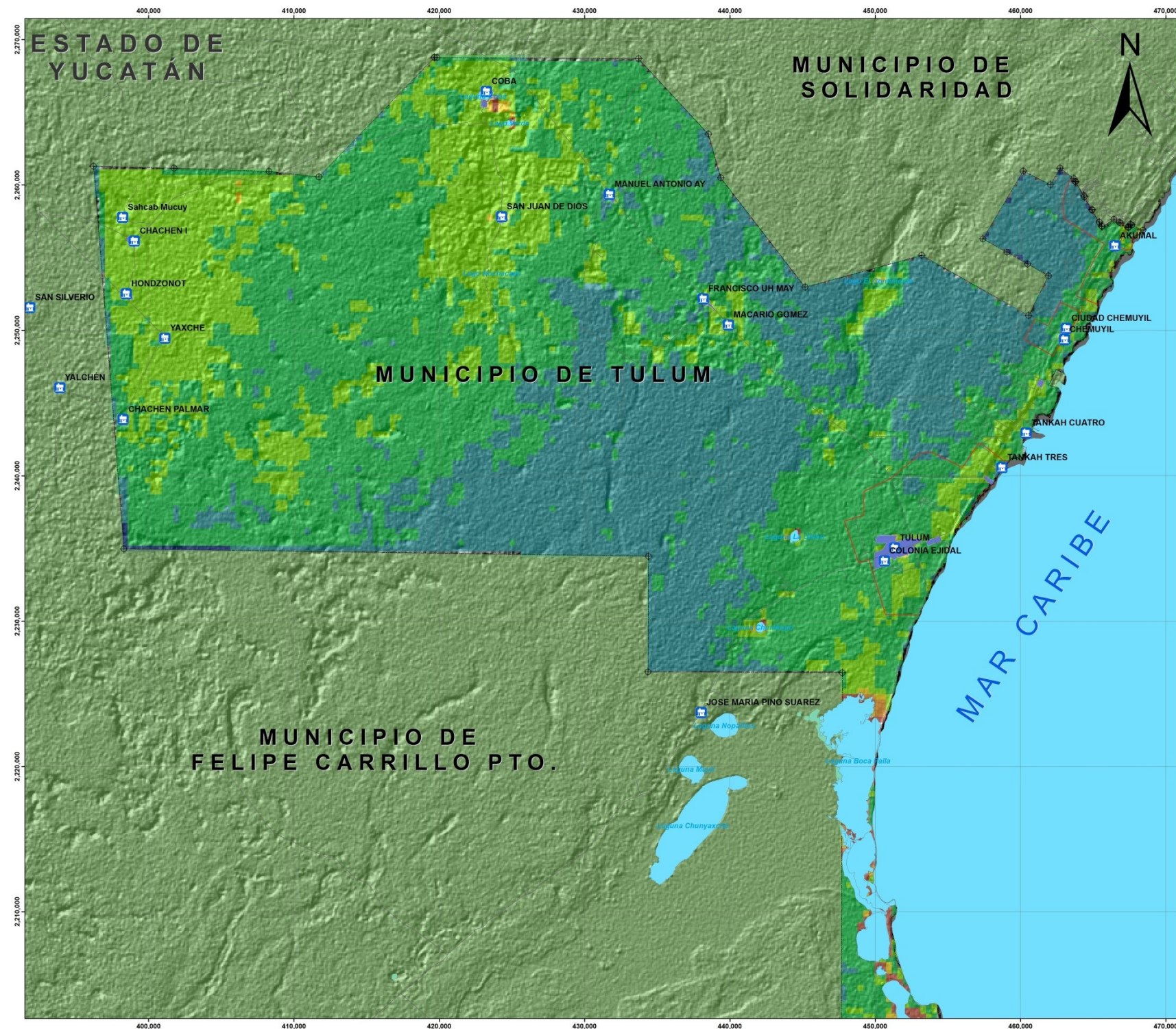
Datum.....WGS84
Sistema de coordenadas.....UTM
Zona UTM.....16N Q

SYLVATICA, S. C.
Fecha: Abril 2012

Escala de trabajo 1:50,000



Figura 21.- Disminución de la disponibilidad de agua de acuerdo al balance hidrológico escenario actual



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



BALANCE HÍDRICO ESCENARIO A1

- LEYENDA**
- Localidades.....
 - Vértices del Municipio.....
 - Límites municipales.....
 - Poblados.....
 - Centros de población.....



Los datos de precipitación fueron obtenidos de la base de datos mundial BIOCLIM. Y fueron utilizados los modelos de circulación general de la atmósfera propuestos por IPCC para la predicción del cambio climático global.

ESCALA DE IMPRESIÓN: 118,598

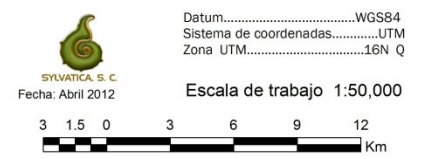
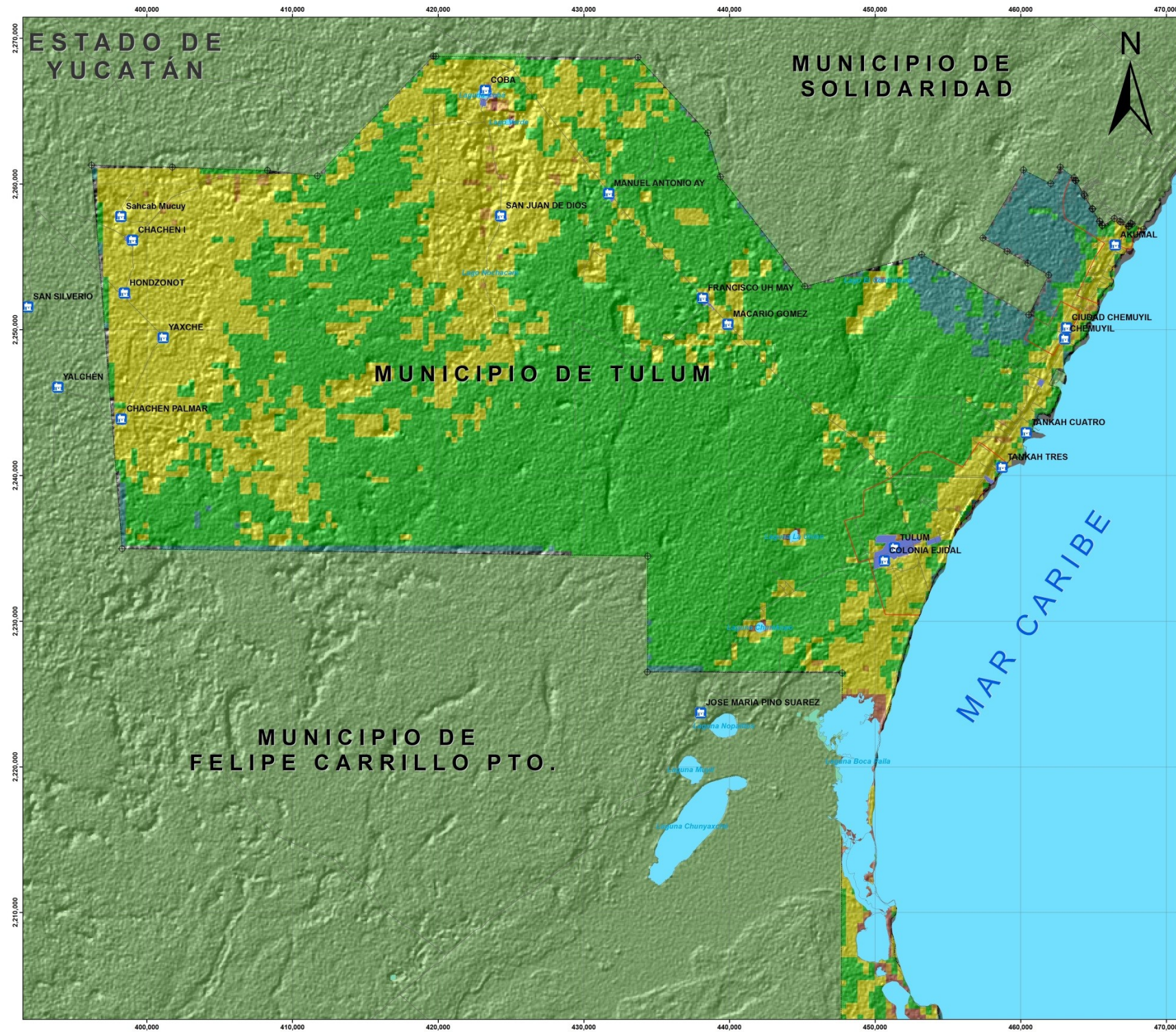


Figura 22.- Disminución de la disponibilidad de agua de acuerdo al balance hidrológico bajo escenarios de cambio climático A 1.



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



BALANCE HÍDRICO ESCENARIO A2

LEYENDA

- Localidades.....
- Vértices del Municipio.....
- Límites municipales.....
- Pobladoss.....
- Centros de poblaci3n.....

Disponibilidad media anual (mm/m2)



Los datos de precipitaci3n fueron obtenidos de la base de datos mundial BIOCLIM. Y fueron utilizados los modelos de circulaci3n general de la atm3sfera propuestos por IPCC para la predicci3n del cambio clim3tico global.

ESCALA DE IMPRESI3N: 1:18,598

Datum.....WGS84
Sistema de coordenadas.....UTM
Zona UTM.....16N Q

SYLVATICA, S. C.
Fecha: Abril 2012

Escala de trabajo 1:50,000



Figura 23.- Disminuci3n de la disponibilidad de agua de acuerdo al balance hidrol3gico bajo escenarios de cambio clim3tico A 2.

IV.4.2. Captación de Carbono

En cuanto a los efectos del cambio climático se tiene que uno de los más representativos y que se ha utilizado como uno de los efectos más adversos es el incremento de gases de efecto invernadero, los cuales tendrán efectos complejos, en algunos casos contrastantes y en ocasiones opuestos (Brinkman y Sombroek 1996)

El incremento en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera se traducen en un mayor incremento en la generación de biomasa, ya que genera un impacto positivo en la productividad de las plantas, además, produce un efecto importante al reducir la transpiración de las plantas y hacerlas más eficientes en el uso del agua, por lo que hay un efecto positivo del CO₂ sobre la transpiración de las plantas (Gregory et al., 1998)

Aunado al incremento de temperatura derivado del cambio climático propiciará el incremento de la biomasa en los bosques y selvas, Philips et al., 1998 reporta un aumento de la biomasa, de 0,62 t C/ha/año, lo cual para un área de 7 000 millones de hectáreas significa una captura de carbono de Gt 0,44 C/año y que haciendo una proyección para una superficie de 1847,144 hectáreas, que corresponde a las áreas ocupadas por algún tipo de vegetación, excluyendo las agrícolas de un incremento de captación de 114,169 toneladas de carbono al año.

IV.4.3. Intensidad de Huracanes

Las implicaciones del cambio climático en lo referente al incremento de intensidad de estos en los fenómenos meteorológicos es una de las preocupaciones que se debaten en diversos foros.

La historia de ciclones tropicales en el Océano Atlántico, la teoría de Intensidad Máxima Potencial y los modelos climáticos, muestran que incrementos en la temperatura de superficie del mar van acompañados de huracanes más intensos. Al relacionar las anomalías de temperatura en el Océano Atlántico con el número de huracanes intensos (de categorías 3, 4 y 5 en la escala Saffir-Simpson), se observó que anomalías positivas relativamente pequeñas de temperatura de superficie del mar (del orden de 1°C), van acompañadas de un mayor número de huracanes intensos respecto a aquellos períodos de anomalías de temperatura negativas⁶. Seis de los diez huracanes más intensos de la historia del Océano Atlántico se han observado en el Mar Caribe. Los otros cuatro en el Golfo de México.

⁶ IMTA, 2006. Análisis de posibles impactos del cambio climático. Estudio de caso preliminar: Cancún, Quintana Roo.

Ante el calentamiento global previsto por el IPCC, podemos esperar huracanes más intensos que los registrados hasta ahora en el Mar Caribe, por lo cual Cancún requiere de tomar medidas de adaptación ante este hecho con el fin de mantener de forma sostenible y durante las siguientes décadas su actividad turística, social y económica.

En cuanto a las posibles trayectorias de los huracanes en escenarios de cambio climático, aún se sabe muy poco. Se han comenzado a hacer algunos análisis a este respecto en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, donde se han determinado las trayectorias de ciclones tropicales en un modelo utilizando un experimento de control, para compararlo con un escenario de cambio climático tal como se muestra en la **Figura 24**, en la cual se puede observar que de acuerdo en las proyecciones realizadas el número de huracanes se intensificarán en la costa del Océano Pacífico, teniendo el efecto contrario en las costas del Caribe Mexicano.

Dicho efecto se debe probablemente a que en la Región Caribe, en particular la zona cercana al municipio de Tulum registró en el modelo anomalías de 0.7 °C, las cuales se encuentran por debajo del rango que generaría la presencia de huracanes de mayor intensidad.

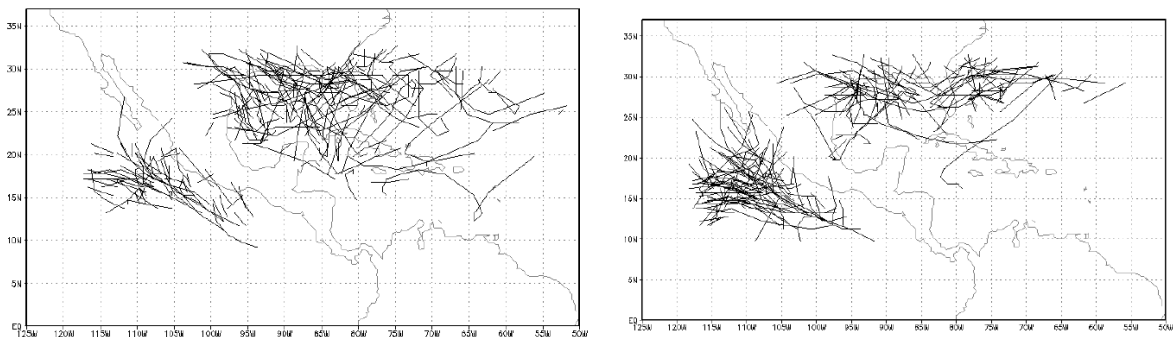


Figura 24. Trayectorias observadas en un experimento de control (izquierda) y en un escenario de cambio climático (derecha).

IV.5. LAS TENDENCIAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y LAS DEMANDAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS URBANOS.

IV.5.1. Tendencias de crecimiento de la población.

En este apartado se analizarán las tendencias del crecimiento poblacional en los centros urbanos del municipio, se tomará como base la información demográfica del INEGI de los años 1990 a 2010 (**Tabla 5**) ya que es la fuente oficial, con la que se estimará el crecimiento de la población.

Tabla 5 - Población histórica de las localidades más importantes del municipio. Los datos proporcionados consideran las localidades más importantes del municipio de Tulum de acuerdo al conteo de población del INEGI 1995 y 2005 y a los Censos Generales de Población y Vivienda, 1990, 2000 y 2010.

MUNICIPIO TULUM LOCALIDAD/AÑO	POBLACIÓN				
	1990	1995	2000	2005	2010
Tulum	2,111	3,603	6,733	14,790	18,233
Ciudad Chemuyil	20	920	1,417	1,239	1377
Akumal	578	470	1,088	1,198	1310
Coba	669	836	918	1,167	1278
Chanchen Primero	437	596	693	793	875
San Juan de Dios	295	333	352	505	510
Sahcab Mucuy	107	240	327	403	458
Chanchen Palmar	199	274	319	398	469
Yalchén	130	257	313	372	0
Francisco Uh May	124	211	338	352	655
Manuel Antonio Ay	135	185	230	319	407
Yaxché	193	254	313	301	335
Macario Gómez	183	215	254	285	510
Hondzonot	183	230	276	278	368
Javier Rojo Gómez	362	257	389	277	469
TOTAL	5,726	8,881	13,960	22,677	27,254

El municipio cuenta con una escasa población que corresponde a una densidad bruta de **0.1335 habitantes por hectárea**. El 76.76 % de la población se encuentra en las áreas urbanas de Tulum, Akumal y Chemuyil, el 21.52 % en el área rural y 1.72 % en la colonia de pescadores Javier Rojo Gómez en Punta Allen.

El municipio ha presentado un crecimiento muy discreto en comparación con los municipios de Solidaridad y Benito Juárez, situación que se considera favorable y que permitirá que con una planeación adecuada se logre promover un esquema de desarrollo sustentable.

Con la finalidad de contar con una estimación del tamaño de la población para los próximos 25 años se presenta el cálculo realizado para este escenario, utilizando los valores determinados por el INEGI para los años 2000, 2005 y 2010, y a partir de este último se aplicaron las estimaciones de la COMUPO hasta el año 2030 y la proyección de estos valores hasta el año 2037, (**Tabla 6**).

Tabla 6 –Estimación de la Población del Municipio Tulum. Se presentan los datos del escenario tendencial para el crecimiento de la población de municipio al 2037.

MUNICIPIO TULUM			
AÑO	POBLACIÓN	AÑO	POBLACIÓN
2000	13,960	2019	58,383
2001	15,703	2020	61,839
2002	17,447	2021	65,374
2003	19,190	2022	68,991
2004	20,934	2023	72,685
2005	22,677	2024	76,455
2006	23,592	2025	80,300
2007	24,508	2026	84,222
2008	25,423	2027	88,219
2009	26,339	2028	92,292
2010	27,254	2029	96,478
2011	30,877	2030	100,664
2012	34,500	2031	104,850
2013	38,124	2032	109,036
2014	41,747	2033	113,222
2015	45,370	2034	117,408
2016	48,499	2035	121,594
2017	51,713	2036	125,780
2018	55,007	2037	129,966

Fuente: Censo de Población 2000 y 2010, INEGI
 Censo de Población 2005, INEGI
 Estimación de las tasas de Crecimiento, COMUPO

En el caso de que se mantengan las proporciones de la distribución de la población, se tendría que para el año 2037 habría 99,762 habitantes en los centros urbanos, 27,969 en la zona rural y 2,235 en la colonia de pescadores. Se tendrá una densidad poblacional en el municipio de **0.63 habitantes por hectárea.**

IV.5.2. Demanda de suelo urbano para el crecimiento de los centros urbanos

Con la finalidad de conocer la forma en la que ha evolucionado la ocupación de los territorios urbanos, se llevó a cabo un análisis de imágenes de satélite LANDSAT de los años 1976, 1988, 2000 y 2004, así como de imágenes SPOT de los años 2006 y 2009 del municipio de Tulum, para lo cual se determinaron los polígonos urbanos existentes en cada fecha mediante la sobreposición cronológica de éstos para generar la huella urbana de cada centro de población.

- Ciudad Tulum

En el caso de la Ciudad de Tulum en los años 70's era un pequeño poblado que se desarrollaba a la vera de la antigua carretera 307, a mediados de los años 80 comienza un crecimiento derivado del éxito turístico en Cancún y posteriormente en los 90 se vuelve a incrementar la afluencia turística a Tulum con el despegue de la Riviera Maya, durante este periodo y hasta el año 2006 se nota una tendencia de mayor crecimiento, sin embargo, después del huracán Dean, de la contingencia por el AH1N1 y la crisis financiera mundial se reduce la afluencia turística, lo que se traduce en una reducción de la tasa de crecimiento. En la **Tabla 7** se presenta la tendencia de crecimiento observadas en esta ciudad.

Tabla 7 - Superficie urbana de la ciudad de Tulum. Se presentan los datos del análisis de superficies de esta ciudad

LOCALIDAD DE TULUM			
USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (m2)	TASA DE CRECIMIENTO
1976	45.00	449,976.57	
1988	110.59	1,105,940.75	7.78%
2000	202.71	2,027,057.80	5.18%
2004	351.60	3,515,999.97	14.76%
2006	447.80	4,477,980.05	12.85%
2009	506.35	5,063,462.39	4.18%
Tasa media 1976-2009			7.61%

La tasa promedio de crecimiento de la ciudad es de un 7.61 %, este valor se utilizará para la generación del escenario tendencial de esta.

Con la finalidad de poder dimensionar el crecimiento urbano que presenta la ciudad de Tulum se presenta en la **Figura 25**, el escenario de crecimiento que se ha dado

desde 1976. En esta figura se indica en línea amarilla el límite del centro de población, en el que se observa que el desarrollo de la mancha urbana es incipiente.

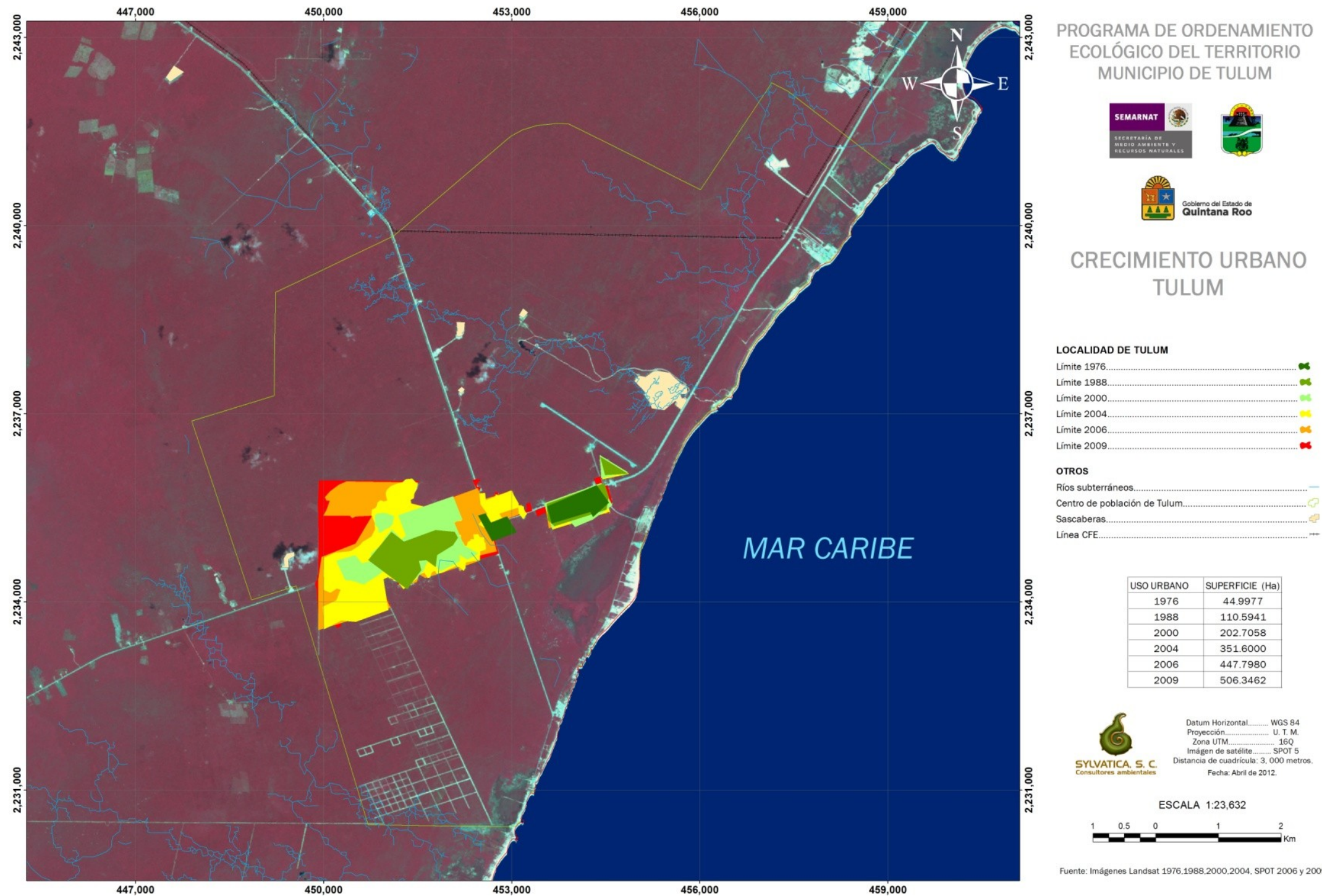


Figura 25. Crecimiento de Tulum.- En la figura se muestra el patrón de ocupación del territorio de la ciudad. En línea amarilla se indica el trazo del polígono del programa director urbano.

- Ciudad Chemuyil

En este caso se trata de un desarrollo urbano que se diseñó desde los años 70 y fue promovido por FIDECARIBE, el proyecto presentaba un trazo urbano similar al de Cancún. Este desarrollo estuvo abandonado por varios años, ya con la urbanización concluida, fue de manera posterior a 1988 que se inició el poblamiento de esta ciudad.

En este caso, Ciudad Chemuyil se considera un poblado aislado, que cuenta con escasos servicios comerciales, sin sitios de esparcimiento para sus pobladores como cines o plazas comerciales, cuenta con una planta de tratamiento que recibe las aguas residuales del complejo.

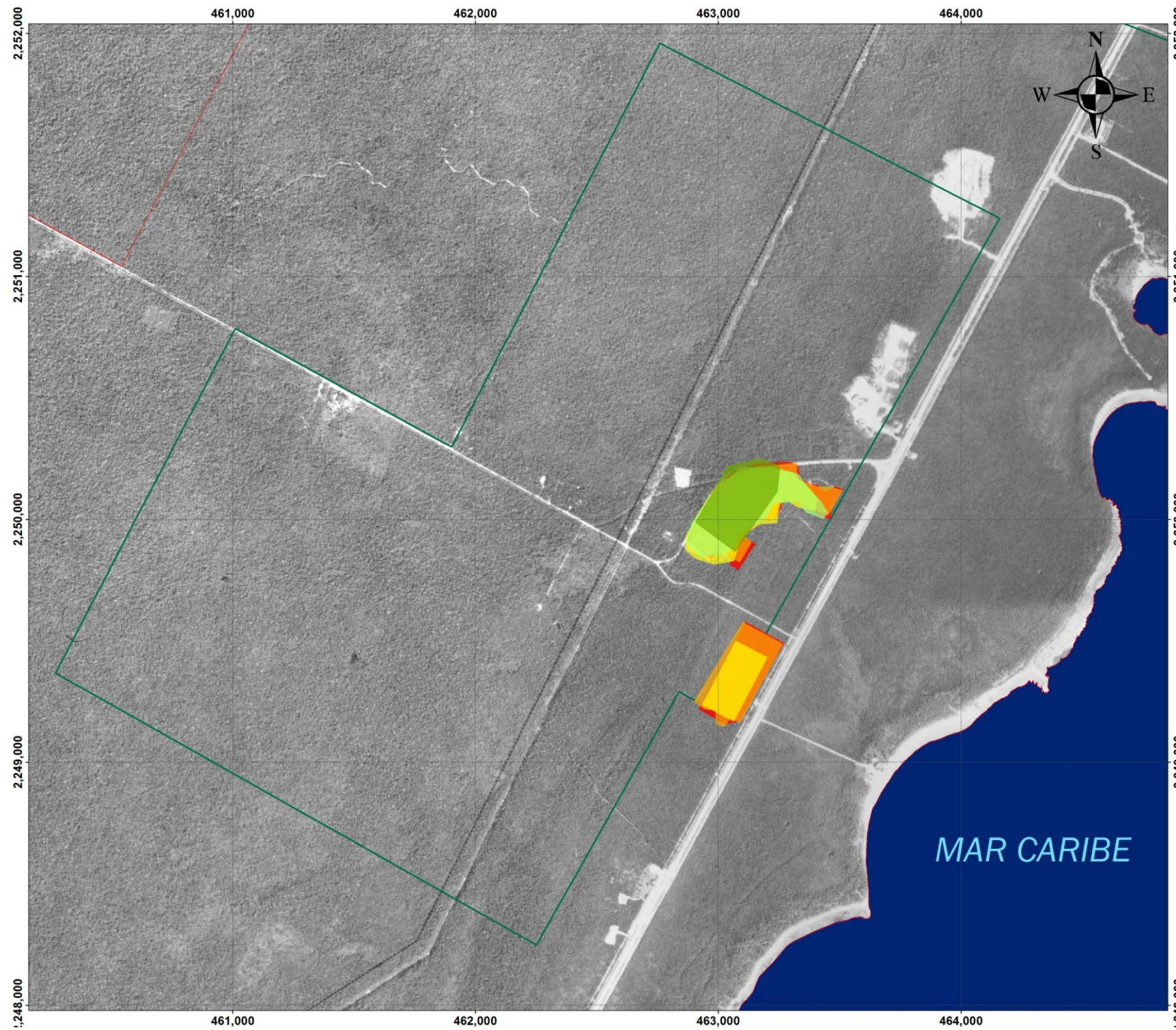
La superficie urbana cuenta en la actualidad con dos polígonos, el primero que corresponde al trazo original de la Ciudad y un polígono ubicado al Sur, con una geometría diferente y con una mayor densidad de viviendas.

En este caso el desarrollo de la ciudad inicia su establecimiento a finales de los años 80 y hasta el año 2000 presenta un crecimiento marginal cercano al 2 % anual, posteriormente, al igual que en todos los centros urbanos se presenta un incremento en la tasa de crecimiento de la ciudad que alcanza el 10 % anual, situación que se mantiene hasta el año 2006 y posteriormente cae y el crecimiento urbano se mantiene prácticamente detenido. En la **Tabla 8** se presenta la tendencia de crecimiento observada para Chemuyil, la tasa promedio de crecimiento de esta ciudad es del 4.53 %

Tabla 8 – Superficie urbana de Ciudad Chemuyil. Se presentan los datos del análisis del desarrollo de esta ciudad

LOCALIDAD DE CHEMUYIL			
USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (m2)	TASA DE CRECIMIENTO
1976	—	—	
1988	7.70	76,977.08	
2000	10.49	104,859.08	2.61%
2004	15.72	157,227.89	10.66%
2006	19.09	190,896.56	10.19%
2009	19.50	194,992.43	0.71%
Tasa media 1988-2009			4.53%

Con la finalidad de poder dimensionar el crecimiento urbano de esta ciudad se presenta en la **Figura 26**, el escenario de crecimiento que se ha dado desde 1988



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



CRECIMIENTO URBANO CHEMUYIL

LOCALIDAD CHEMUYIL

- Límite 1988.....
- Límite 2000.....
- Límite 2004.....
- Límite 2006.....
- Límite 2009.....

OTROS

- Centro de población de Tulum.....
- Línea CFE.....
- Límite municipal.....

USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)
1976	—
1988	7 6977
2000	10 4859
2004	15 7228
2006	19 0897
2009	19 4992

SYLVATICA, S. C.
Consultores ambientales

Datum Horizontal..... WGS 84
Proyección..... U. T. M.
Zona UTM..... 16Q
Imágen de satélite..... SPOT 5
Distancia de cuadrícula: 1. 000 metros.
Fecha: Abril de 2012.

ESCALA 1:7,000



Fuente: Imágenes Landsat 1976,1988,2000,2004,SPOT 2006 y 2009.

Figura 26. Ciudad Chemuyil.- En la figura se muestra el patrón de ocupación del territorio de la ciudad. En línea amarilla se indica el trazo del polígono del programa director urbano vigente.

- Poblado de apoyo de Akumal

Este centro urbano se inició como un pueblito de apoyo que constituía un asentamiento irregular, que en 1995 fue reubicado en los terrenos actuales, surgió a partir del creciente desarrollo turístico que presentó Akumal en la década de los 90, para el año 2000 este poblado contaba con una superficie de 8.5 hectáreas, posteriormente experimentó un crecimiento acelerado que prácticamente duplicó su superficie en cuatro años, posteriormente de 2006 y hasta 2009 presenta tasas inferiores al 4 % de crecimiento anual. **(Tabla 9)**

Este poblado se ha ido estructurando poco a poco ya que en sus inicios las calles no estaban pavimentadas y prácticamente no había servicios, en la actualidad cuenta con algunos servicios pero le faltan sitios de esparcimiento y culturales. Los habitantes de ese poblado en su mayoría son los trabajadores que prestan sus servicios en los desarrollos ubicados en la zona costera.

Tabla 9 – Superficie urbana de Akumal. Se presenta el desarrollo cronológico del poblado.

LOCALIDAD DE AKUMAL			
USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (m ²)	TASA DE CRECIMIENTO
1976	0.00	0.00	
1988	0.00	0.00	
2000	8.49	84,940.11	
2004	13.84	138,395.39	12.98%
2006	14.18	141,774.46	1.21%
2009	15.75	157,455.70	3.56%
Tasa media 2000-2009			2.61%

Con la finalidad de poder dimensionar el crecimiento urbano que presenta la ciudad En la **Figura 27** se muestra el patrón de crecimiento de este centro urbano. Actualmente cuenta con un plan director urbano dividido en dos, sin que hasta la fecha se haya definido como se manejará para el desarrollo de este centro urbano.



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



CRECIMIENTO URBANO AKUMAL

LOCALIDAD AKUMAL

- Límite 2000.....
- Límite 2004.....
- Límite 2006.....
- Límite 2009.....

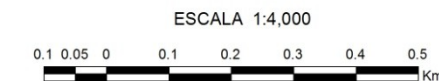
OTROS

- Centro de población de Tulum.....
- Línea CFE.....

USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)
1976	---
1988	---
2000	8.4940
2004	13.8395
2006	14.1774
2009	15.7456

SYLVATICA, S. C.
Consultores ambientales

Datum Horizontal..... WGS 84
Proyección..... U. T. M.
Zona UTM..... 16Q
Imagen de satélite..... SPOT 5
Distancia de cuadrícula: 1, 000 metros.
Fecha: Abril de 2012.



Fuente: Imágenes Landsat 1976,1988,2000,2004,SPOT 2006 y 2009.

Figura 27. Poblado de Apoyo de Akumal.- Con la escala de colores se presenta la cronología del desarrollo de este poblado.

- Poblado de Cobá

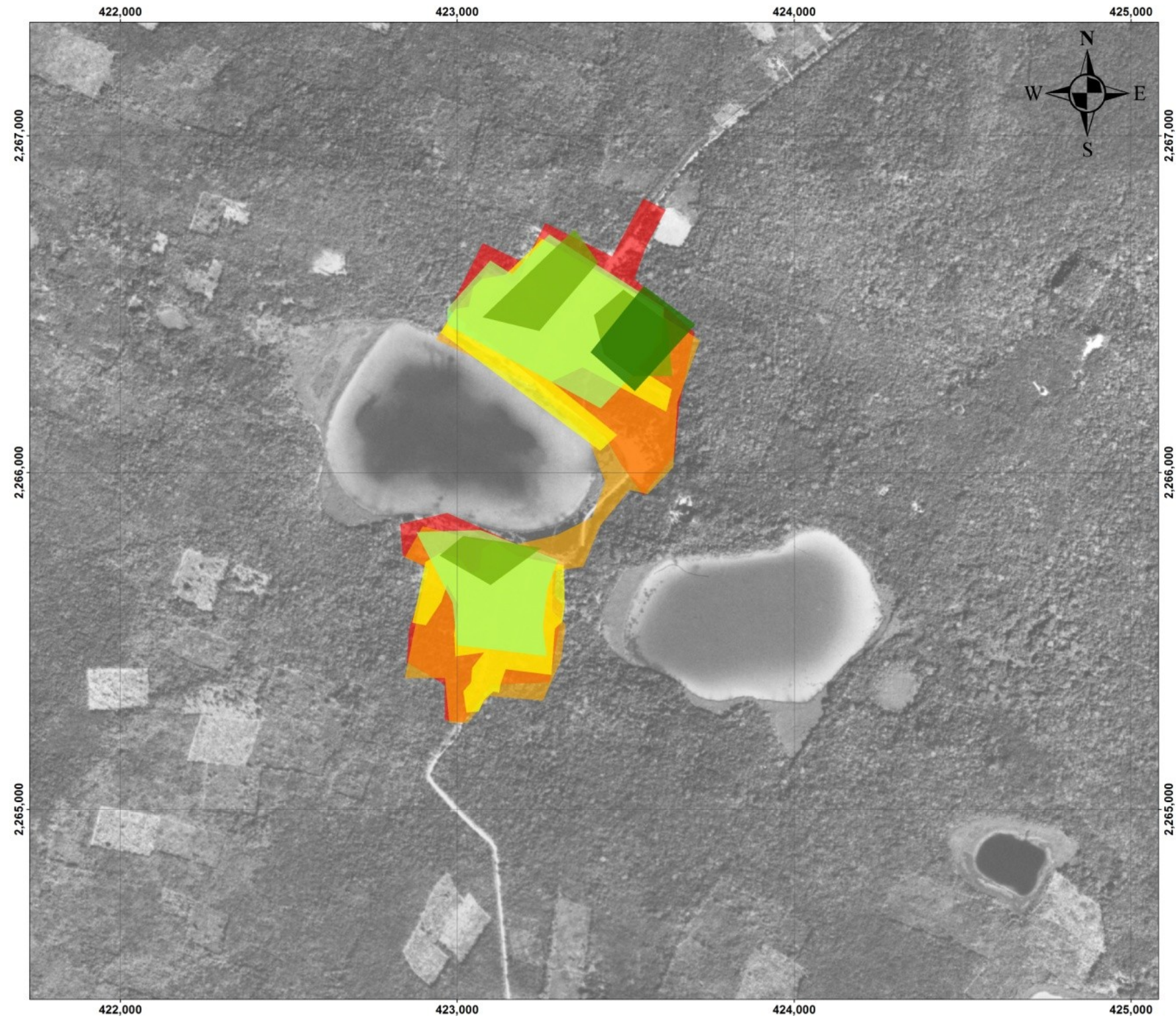
En el caso del poblado de Cobá, se trata de un centro originalmente rural y que debido al auge que cobraron el sitio arqueológico del mismo nombre a partir de los años 90, han permitido que la economía local se base en la prestación de servicios turísticos. Al igual que otras localidades del municipio presentaba tasas de crecimiento moderadas y en el año 2006 se incrementa notablemente la tasa de crecimiento hasta un 23% y posteriormente por las causas que afectaron la industria turística a partir de 2007 prácticamente detiene su crecimiento

En la **Tabla 10** se presentan los resultados del análisis de imágenes de satélite de esta localidad. La tasa promedio de crecimiento de Cobá es de un 7 % anual.

Tabla 10 – Crecimiento del poblado rural de Cobá. Este poblado no cuenta aún con un programa de Desarrollo Urbano que regule el uso del suelo.

LOCALIDAD DE COBÁ			
USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE (m2)	TASA DE CRECIMIENTO
1976	4.72	47,228.93	
1988	10.66	106,620.44	7.02%
2000	28.93	289,259.75	8.67%
2004	33.62	336,195.22	3.83%
2006	50.87	508,741.75	23.01%
2009	50.93	509,283.61	0.04%
Tasa media 1976-2009			7.47%

En este caso el centro urbano se desarrolla alrededor del Lago de Cobá, por lo que presenta dos polígonos con diferentes tasas de ocupación del territorio. Este poblado es de tipo ejidal y no cuenta con programa director urbano, (**Figura 28**).



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO MUNICIPIO DE TULUM



CRECIMIENTO URBANO COBÁ

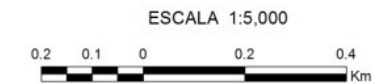
LOCALIDAD DE COBÁ

- Límite 1976.....
- Límite 1988.....
- Límite 2000.....
- Límite 2004.....
- Límite 2006.....
- Límite 2009.....

USO URBANO	SUPERFICIE (Ha)
1976	4.7229
1988	10.6620
2000	28.9260
2004	33.6195
2006	50.8742
2009	50.9284

SYLVATICA, S. C.
Consultores ambientales

Datum Horizontal..... WGS 84
Proyección..... U. T. M.
Zona UTM..... 16Q
Imagen de satélite..... SPOT 5
Distancia de cuadrícula: 1.000 metros.
Fecha: Abril de 2012.



Fuente: Imágenes Landsat 1976,1988,2000,2004, SPOT 2006 y 2009.

Figura 28. Crecimiento de Cobá.- Este centro urbano de tipo ejidal se divide en dos secciones, los polígonos de color muestran la cronología de su crecimiento.

- Proyección de crecimiento de los centros urbanos

Con base en las tasas de crecimiento de los principales centros urbanos del municipio se generó el escenario tendencial para cada uno de ellos, el resultado de esta proyección tendencial se presenta en la **Tabla 11**

Tabla 11 – Escenario Tendencial poblados principales. Se indica la tendencia de crecimiento en cuatro centros urbanos

AÑO	TULUM	COBÁ	AKUMAL	CHEMUYIL
	Superficie en Hectáreas			
1976	45.00	4.72	—	—
1988	110.59	10.66	7.70	—
2000	202.71	28.93	10.49	8.49
2004	351.60	33.62	15.72	13.84
2006	447.80	50.87	19.09	14.18
2009	506.35	50.93	19.50	15.75
2012	621.96	62.34	22.15	16.98
2018	905.98	90.29	28.16	19.64
2024	1,319.70	130.78	35.81	22.72
2030	1,922.34	189.41	45.53	26.29
2037	2,946.50	288.47	59.95	31.10

De esta manera se tiene que las cuatro ciudades principales del municipio de Tulum tendrán un crecimiento en los próximos 25 años que las llevará a tener una superficie urbana conjunta de 3,326.02 hectáreas. Para el resto de los centros urbanos en su conjunto se estima que alcanzarán una superficie de 250 hectáreas por lo que la superficie total urbana se estima en 3,576.02 hectáreas.

Las tendencias que muestran los poblados analizados fueron de dos tipos, los asentamientos más antiguos (Tulum y Cobá) presentan un crecimiento de tipo exponencial y los centros de reciente creación una tendencia polinomial, las ecuaciones y las gráficas que expresan las tendencias de cada centro de población se presentan en la **Figura 29**

Un aspecto importante a considerar es que en todo el territorio municipal existen ríos subterráneos, por lo que el crecimiento de los centros urbanos debe evitar afectar estas estructuras, tanto por la conservación de estos, como por la protección y seguridad de la población para lo cual se deben establecer los criterios respectivos.

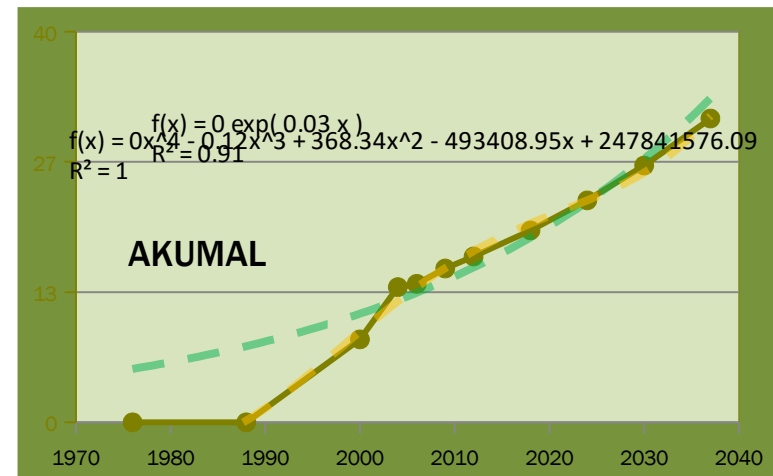
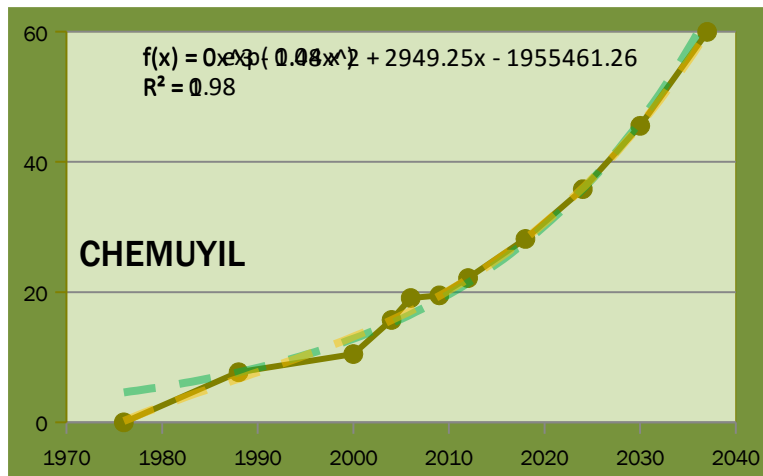
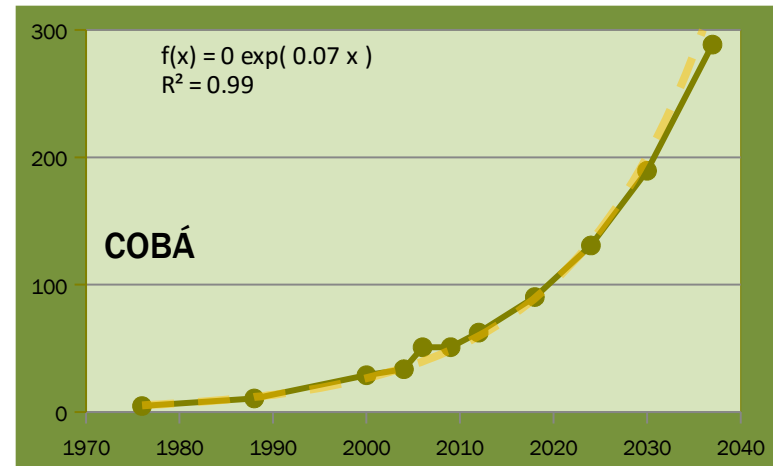
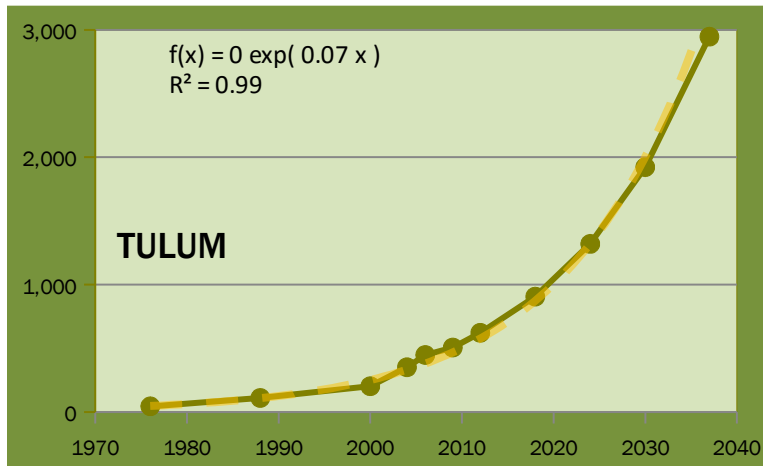


Figura 29. Tendencias de crecimiento al 2037.- Se muestran las tendencias de crecimiento de los cuatro centros urbanos, en cada grafica se incluyó la línea de tendencia que describe el crecimiento de las manchas urbanas, las formulas y el valor de R².



Gobierno del Estado de
Quintana Roo



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IV.5.3. Crecimiento del sector turístico

- Desarrollo de Casas de Descanso, Villas, Quintas y Condominios.

El Municipio Tulum ha tenido un desarrollo turístico atípico, debido a que sus costas por el aislamiento que presentaban y las condiciones prístinas que presentaban los recursos naturales se promocionaron como sitios para establecer residencias de descanso, posteriormente la colonización de las playas continuó mediante el establecimiento de condominios y villas turísticas, así como el establecimiento de algunos hoteles en la zona de Akumal, también se desarrolló un exclusivo fraccionamiento en la Península de Yalkú, y otros desarrollos en varios sectores de las costas como en Akumal Caribe, Aventuras Akumal, y en Punta Tulsayab, Punta Cadena, Bahía Solimán y Tankah. (**Figuras 30 y 31**).



Figura 30. Desarrollo de residencias, villas y condominios en Akumal.- como se puede apreciar en la imagen existen múltiples edificaciones en el estrecho cordón litoral de esta zona y en la Península de Yalku. Foto: Sylvatica/GGomez/2010.



Figura 31. Desarrollo de de residencias, villas y condominios Bahía Solimán y Punta Cadena y Punta Tulsayab.- Esta zona se ubica en la **UGA Cn 8** del POET CCT en donde establece que no se permite el despalme ni la construcción de cuartos. Foto: Sylvatica/GGómez/2010.

El establecimiento de estas edificaciones ha ocupado prácticamente la zona desarrollable del litoral, ya que los manglares se ubican ocupando los territorios ubicados al Oeste de estos predios. Estos desarrollos se ubican en zonas que carecen de drenaje sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, asimismo el servicio de recolección y disposición final de residuos sólidos es deficiente.

- Áreas Naturales Protegidas

Parque Nacional Tulum.- Establecida por decreto el 23 de abril de 1981, abarca un extenso sector del litoral del municipio con longitud de 10 kilómetros. Esta área natural protegida no cuenta con programa de manejo, por lo que es incierto el desarrollo turístico en su interior. No obstante, se han edificado hoteles en su interior. Recientemente se elaboró un Programa Director de Desarrollo Urbano para la ciudad de Tulum que abarcaba este polígono y establecía usos turísticos, mismos que fueron invalidados por decreto de la Suprema Corte de Justicia.

Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an.- Decretada el 20 de enero de 1986, cuenta con programa de manejo y más aún, cuenta con un Programa de Ordenamiento Ecológico Regional en el que se regulan los usos y las modalidades de uso permitido, en este caso el POET de la zona Costera de Sian Ka'an (**Figura 32**) permite los siguientes usos (**Tabla 12**).

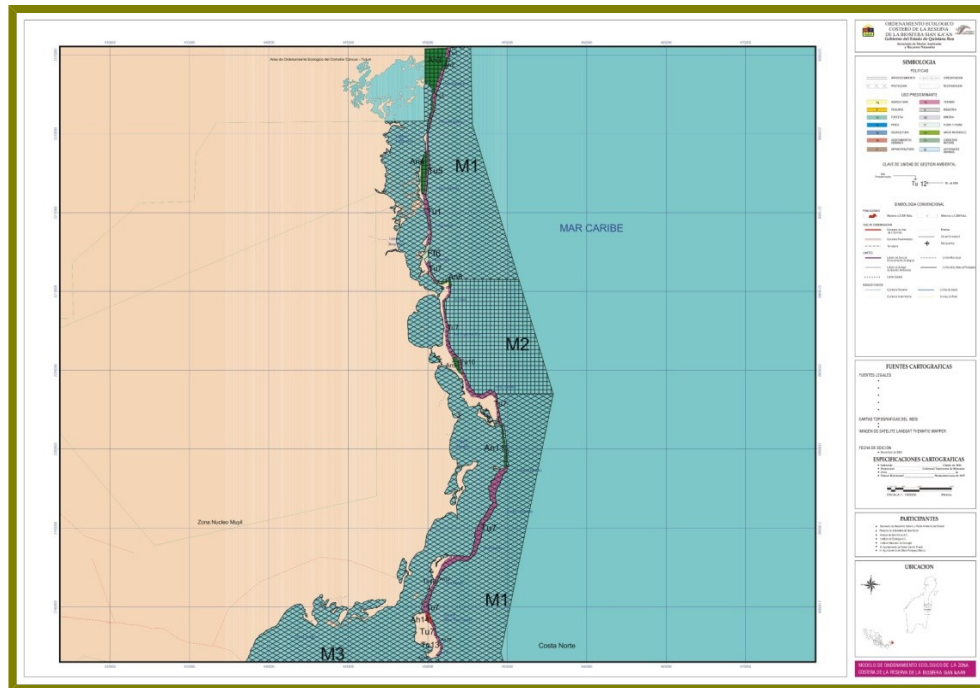


Figura 32. Ordenamiento Ecológico de la Zona Costera de Sian Ka'an.- Plano de la Zona Norte del Ordenamiento, en donde se encuentra el Litoral de Tulum.

Tabla 12 - POET Zona Costera de Sian Ka'an. Se presenta el resumen de las posibilidades de desarrollo dentro de la zona costera dentro del municipio de Tulum.

UGA	Superficie Ha	Densidad Ctos/Ha	Posibilidad Ctos/Ha
TU 1	14.45	0.5	7.22
TU 5	31.58	0.5	15.79
TU 7	18.19	0.5	9.10
TU 7	73.67	0.5	36.83
TU 10	15.69	0.5	7.84
TU 13	16.56	0.5	8.28
			85.06

Las posibilidades de desarrollo turístico dentro de la Reserva son de densidad muy bajas, debido a la importancia de preservar y proteger la zona costera de esta área natural protegida, patrimonio de la humanidad.

En el poblado de Javier Rojo Gómez se encuentran en operación varios hoteles rústicos, algunos con más de 15 años de antigüedad, el desarrollo en esta zona está condicionado por la carencia de red de energía eléctrica, y sistema de tratamiento de aguas residuales y sitios adecuados para la disposición final de residuos sólidos.

Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Santuario de la Tortuga Marina Xcabel y Xcabelito.- Se trata de un área natural protegida de tipo estatal que fue decretada en febrero de 1998, comprende una superficie de 362.10 hectáreas, de las cuales 24 están constituidas por una franja de 100 metros de ancho por lo largo de las playas de las bahías de Xcabel y Xcabelito, el resto forman un polígono en la zona marina que tiene como límite la isobata de 60m. Cuenta con un programa de manejo y en su superficie no está permitido establecer cuartos hoteleros.

En esta zona se generó un conflicto por la propuesta de desarrollar hoteles por parte de una cadena española mismo que después de múltiples controversias fue desechado por considerarse incompatible el desarrollo de hoteles con la protección de las tortugas marinas que anidan en esas playas.

- Presencia de manglares.

Una importante porción de la zona costera del municipio está ocupada por diferentes asociaciones de manglar, en los que no se han desarrollado prácticamente desarrollos turísticos sólo los hoteles Dreams y Bahía Príncipe se han desarrollado basados en autorizaciones ambientales. En la actualidad con la publicación el primero de febrero de 2007, del Artículo 60 TER, las posibilidades de desarrollo en estos humedales son nulas, ya que se ha otorgado una protección total a los manglares del país. Lo anterior resulta crucial para el municipio de Tulum, ya que cuenta con una superficie estimada en 1,632.15 hectáreas ocupadas por esta vegetación en la zona costera.

Los manglares presentes en esta zona se ubican de manera posterior a la duna costera y corresponden a manglares de cuenca endorreica, en la que el aporte de agua proviene de las lluvias, por lo que presentan temporadas de inundación y sequía, no presentan flujo y reflujo ya que no presentan un contacto franco y directo con el mar.

Esta vegetación permanecerá en estado natural, por lo que no resulta una zona susceptible de ser desarrollada.

- Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor Cancún Tulum.

Este ordenamiento se publicó por primera ocasión en 1994 y posteriormente en el año 2001 fue actualizado, en esta última versión se establecieron densidades brutas a las unidades y para la determinación de la densidad neta se aplicó el factor o porcentaje de desmonte permitido, por lo que las densidades se reducen, por ejemplo: las UGAS Ff 3, Cn 7 y Tu 11, presentan una densidad de 30 cuartos por hectárea y un porcentaje de desmonte del 15 %, por lo que la densidad neta es de 4.5 cuartos por hectárea. Para la proyección del número de cuartos se consideró la determinación del potencial establecido en este ordenamiento (**Tabla 13**)

Tabla 13 - POET Corredor Cancún Tulum. Se presenta el resumen de las posibilidades de desarrollo dentro de la zona costera regulada por este ordenamiento.

No	UGA	Superficie (Ha)	Desmonte	Superficie real (Ha)	Densidad Bruta	Densidad Neta	Posibilidad de la UGA
3	Costa Tulum Sian Ka'an	121.05	15.00%	18.16	30	4.50	545.00
7	Punta Solimán	333.69		50.05			1,502.00
7	Xcacel hasta Caleta Yalkú	779.87		116.98			3,509.00
9	FIDECARIBE	497.27		74.59			2,238.00
11	Al Sur de Xel ha	266.52		39.98			1,199.00
TOTALES		1,998.40		299.76			8,993.00

Con base en lo indicado en este ordenamiento, se declara un potencial de desarrollo turístico con cuartos hoteleros para una superficie de 1,998.40 hectáreas, de las cuales 299.76 eran desmontables y en donde se pueden realizar hasta 8,993 cuartos.

De acuerdo con el análisis de la zona, se considera que los desarrollos hoteleros Bahía Príncipe y Dreams Tulum, Oasis Akumal, Hotel Club Akumal Caribe. Fueron edificados de manera previa a la entrada en vigor de la actualización del POET de 2001 y en algunos casos de anteriores a 1988, por lo que las estimaciones sobre la densidad para estas unidades son independientes de la existencia de estos cuartos.

Para Tulum no existen tablas de número de cuartos de manera previa a 2009 ya que se vinculaba toda la zona como Riviera Maya por lo que se procuró una fórmula de crecimiento turística de baja densidad.

Con la finalidad de determinar el número de cuartos factibles de desarrollo en la zona se consideró una proyección del número de cuartos existentes en la

actualidad (6.004 cuartos) más los permitidos por ambos ordenamientos ecológicos (9,078 cuartos), de esta manera se obtuvo la tendencia de crecimiento de los cuartos, (**Tabla 14**).

Año	Número de Cuartos	Tendencia	cuartos
2000	1,595		
2005	3,519	17.15%	
2010	5,543	9.51%	
2015	7,451	4.33%	
2020	9,359	2.92%	
2025	11,266	2.55%	
2030	13,174	2.26%	
2037	15,082	1.89%	

Tabla 14 - Número de Cuartos. Para el año 2037 existirán 15,082 cuartos.

Se determinó que la progresión de cuartos tendría una tendencia descendente de tipo polinómica, que tiende a estabilizarse después del año 2020, cuando presenta crecimientos menores al 3 % anual. (**Figura 33**)

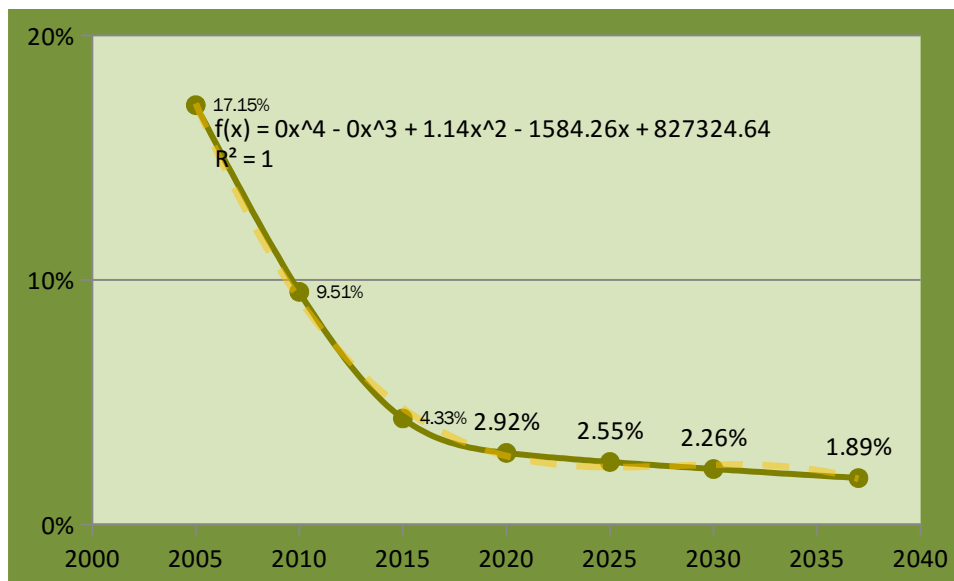


Figura 33. Tendencia de crecimiento porcentual del número de cuartos.- Se muestra la ecuación de la línea de tendencia y el valor de R².

De acuerdo con esta tendencia se determinó que el número de cuartos estimados para la zona costera de Tulum es de 15,082 para el año 2037.

- Estimación del crecimiento turístico en el Municipio Tulum para el año 2037

De acuerdo con las consideraciones previas, el desarrollo turístico de Tulum presenta un panorama complejo, derivado de la falta de espacio desarrollable, a lo que se adiciona la falta de litoral arenoso disponible, porque las zonas con playa arenosa se encuentran ocupadas por casas o condominios, asimismo, las grandes extensiones de manglar plantean un reto para los diseños turísticos, ya que debe cumplirse una estricta normatividad por lo que los proyectos no pueden ser resueltos con los métodos constructivos tradicionales, esto representa un área de oportunidad para promover proyectos que den cumplimiento a lo establecido en la normatividad, por lo que se considera que estos posibles diseños sean de baja a muy baja densidad.

Se estima que para el año 2037 existirán en el municipio, fuera de los centros urbanos un total de 15,082 cuartos, éste número se estructuró de la siguiente manera se suman a los cuartos existentes, los cuartos resultantes del análisis del POET del CCT mas los cuartos permitidos por el POEL Sian Ka'an, (**Tabla 15**).

Tabla 15 – Escenario Tendencial Desarrollo Turístico. Se presenta el número de cuartos que se estiman posibles para el año 2037.

Año	Número de Cuartos
Cuartos Existentes a 2011	6,004
Cuartos Potenciales POET CCT	8,993
Cuartos Potenciales POET Sian Ka'an	85
Cuartos Escenario Tendencial	15,082

IV.5.4. Demandas de Infraestructura Urbana y Servicios Públicos

- Agua Potable

Se cuenta con una zona de captación conformada por una batería de 7 pozos, de los cuales 4 están en operación, con una producción aproximada de 81 lps; la zona de captación se interconecta con el cárcamo de rebombeo que se encuentra ubicado en la Ciudad por medio de la línea de conducción de 8"; la distribución del líquido se realiza mediante redes de agua potable de diferentes diámetros, en la actualidad se tiene una cobertura de agua potable del 98% (**Figura 34**)

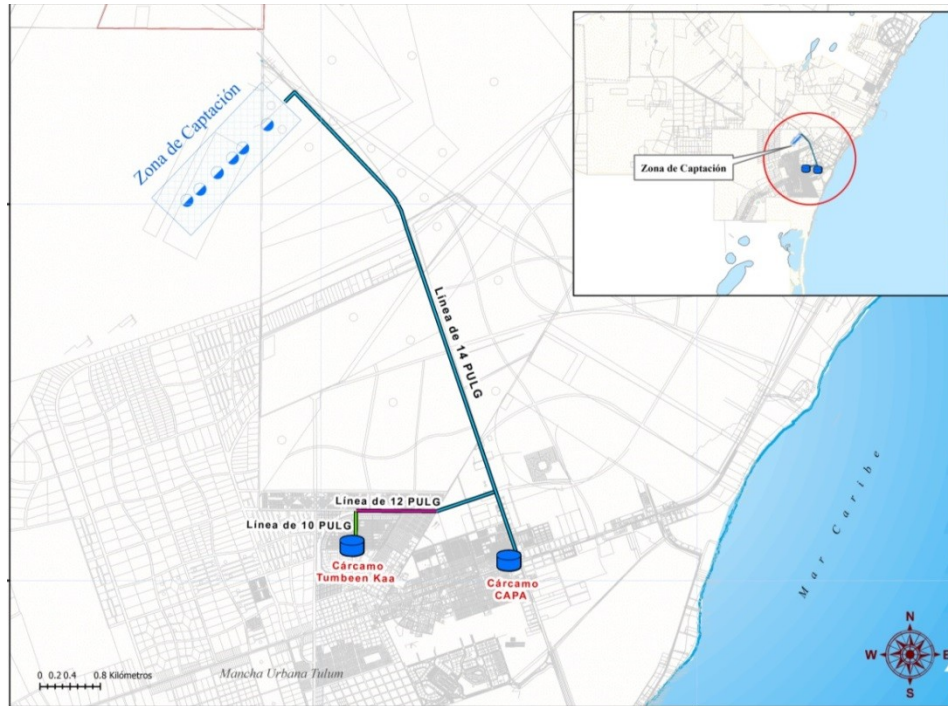


Figura 34. Sistema de agua potable.- Se muestra la ubicación de la batería de pozos que proveen de agua potable a la ciudad de Tulum.

En la ciudad de Tulum en la actualidad se tiene una cobertura de medición del 100% en medición, de los cuales el 21.1% presenta alguna anomalía en su operación. En la **Tabla 16** se muestran los consumos promedios según sector y tipo de usuario y en la **Figura 35** se muestra la distribución de dichos sectores del PDU Tulum.

Tabla 16 -Consumo de agua en el Municipio Tulum. Se presenta el consumo promedio de agua potable por sector en m³/año.

SECTOR COMERCIAL	DOMÉSTICO	HOTELERO	COMERCIAL	INDUSTRIAL	SERV. GLES	TOTAL
I	161,346	6,167	29,027	0	2,169	198,709
II	91,111	508	26,550	0	3,284	121,453
III	95,401	8,920	40,623	191	3,021	148,156
IV	149,256	626	22,200	0	8,784	180,866
V	1,229	471	10,533	0	3,148	15,381
VI	58,215	0	14,002	0	815	73,032
VII	7,669	68	258	0	47	8,042
VIII	4,295	0	50	0	0	4,345
IX	19,061	0	0	0	0	19,061
Total	587,583	16,760	143,243	191	21,268	769,045
%	76.40%	2.18%	18.63%	0.02%	2.77%	100.00%

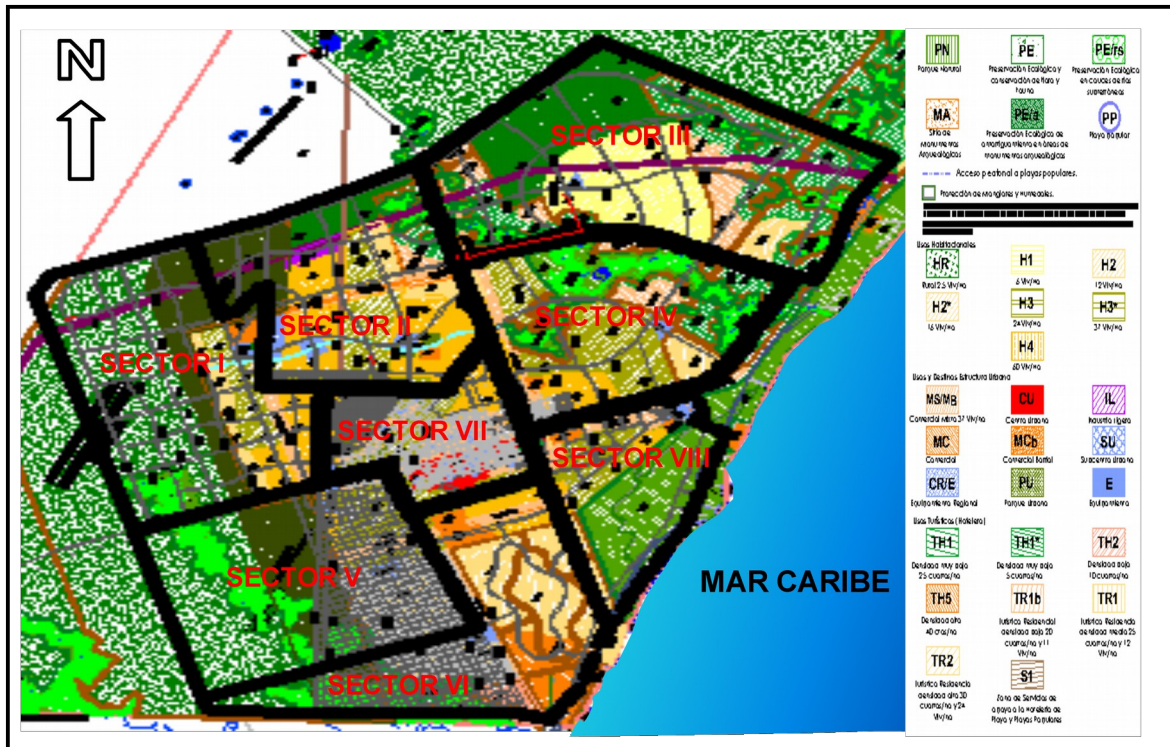


Figura 35. Zonas de crecimiento y sectores de atención de la Ciudad de Tulum. Fuente: Comisión de agua potable y alcantarillado del Estado de Quintana Roo.

Tomando en cuenta la información presentada se tiene que en el municipio de Tulum el mayor consumo de agua es por parte del sector doméstico, con lo cual se puede asegurar que el incremento en consumo se presentará en una relación directamente proporcional con el incremento de la población.

En este análisis se planteó la necesidad de separar el consumo dependiendo del uso y las características de la población debido a que existen condiciones diferentes de consumo ya que por una parte se tiene los centros urbanos en donde el consumo de agua es mayor y la población rural en la que se consideró un consumo menor de este recurso. Asimismo la actividad turística se maneja por separado debido a que tiene un consumo que supera varias veces el de los sectores urbano y rural.

En la **Tabla 17** se presentan los resultados de las estimaciones realizadas para el consumo de agua en el municipio en un escenario de 25 años. Para el cálculo del consumo se consideraron los valores indicados por la CONAGUA, 2007, en donde se establece para el sector urbano de vivienda media en clima cálido, un consumo de 230 litros por persona al día y para el sector rural se aplicó el valor del consumo de vivienda popular de clima cálido con 185 litros por persona. Para los cuartos

hoteleros se consideró un volumen medio de 1,500 litros por cuarto, que equivale a hoteles de 4 y 5 estrellas. Es posible que los cuartos ubicados en la zona hotelera Sur tengan consumos menores sin embargo no existen estadísticas de la zona que así lo indiquen.

Tabla 17 -Proyección del consumo de agua en el Municipio Tulum. Se presenta el escenario tendencial para el consumo de agua considerando los sectores.

Año	Población	Consumo	Total de cuartos	Consumo hotelero	Otros consumos	Consumo total
2000	13,960	237,751	1,595	4,452	66,008	308,212
2005	22,677	386,210	3,519	9,823	107,931	503,964
2010	27,254	464,160	5,543	15,473	130,715	610,348
2012	34,501	587,583	6,004	16,760	164,702	769,045
2015	45,370	772,692	7,451	20,799	216,251	1,009,742
2020	61,839	1,053,174	9,359	26,125	294,142	1,373,441
2025	80,300	1,367,581	11,266	31,449	381,279	1,780,308
2030	100,664	1,714,398	13,174	36,775	477,248	2,228,422
2037	129,966	2,213,438	15,082	42,101	614,703	2,870,242

Los cálculos de la tabla anterior fueron generados con base en la información proporcionada por CAPA y bajo el supuesto de que las proporciones de consumo por parte de cada uno de los sectores con respecto al consumo total se mantienen constantes. Es decir, se considera que el sector doméstico y el sector hotelero consumen el 78.58% del total de agua consumida en el municipio y que dicha proporción se mantiene sin variación significativa a lo largo de los periodos de tiempo analizados.

- **Aguas Residuales**

Al año 2012 en la ciudad de Tulum se contaba con una cobertura de drenaje y saneamiento a aproximada al 11%, mientras que para el 2013, de acuerdo con CAPA, se cuenta con una cobertura de 16.16%, por lo que los habitantes restantes que no cuentan con el servicio incurrir a métodos alternativos de evacuación (fosas sépticas, letrinas o en su caso pozos negros) para la eliminación de las aguas residuales (AR) y excretas, incurriendo en costos de construcción, operación y mantenimiento. El uso de letrinas generalmente se asocia a molestias sanitarias tales como malos olores, proliferación de fauna nociva y mayor incidencia de enfermedades gastrointestinales y parasitarias.

Por otra parte, aunque las fosas sépticas técnicamente bien construidas no generan este tipo de molestias, la inversión en que deben incurrir quienes deseen instalar este

sistema es mayor a la de pozos y letrinas, por lo que se opta por métodos de menor costo o se emplean fosas sépticas mal construidas, que en ocasiones funcionan como pozos negros. En la **Tabla 18** se muestra el volumen de agua residual generado, actualmente en la ciudad de Tulum se tiene una cobertura de Drenaje Sanitario del 10.9%.

Tabla 18. Aguas residuales, caudales generados (en m³/año).

SECTOR COMERCIAL	DOMÉSTICO	HOTELERO	COMERCIAL	INDUSTRIAL	SERV. GLES.	TOTAL	LPS
I	129,077	4,934	23,222	0	1,735	158,967	5.04
II	72,889	406	21,240	0	2,627	97,162	3.08
III	76,321	7,136	32,498	153	2,417	118,525	3.76
IV	119,405	501	17,760	0	7,027	144,693	4.59
V	983	377	8,426	0	2,518	12,305	0.39
VI	46,572	0	11,202	0	652	58,426	1.85
VII	6,135	54	206	0	38	6,434	0.20
VIII	3,436	0	40	0	0	3,476	0.11
IX	15,249	0	0	0	0	15,249	0.48
Total	470,066	13,408	114,594	153	17,014	615,236	19.51
%	61.12%	1.74%	14.90%	0.02%	2.21%	80.00%	

Con la finalidad de conocer el volumen de aguas residuales que se generarán en el año 2037 se realizó la estimación de los volúmenes, considerando el volumen obtenido para el agua potable por un factor del 80% (CONAGUA, 2007), ya que se considera que el 20 % restante permanece en los sistemas de alcantarillado y redes internas, **Tabla 19**.

Tabla 19 -Proyección de la generación de aguas residuales en el Municipio Tulum. Se presenta el escenario tendencial para los sectores urbano, rural y turístico.

Año	Población	Consumo	Total de cuartos	Consumo hotelero	Otros consumos	Consumo total
2000	13,960	190,201	1,595	3,562	52,806	246,569
2005	22,677	308,968	3,519	7,859	86,345	403,171
2010	27,254	371,328	5,543	12,379	104,572	488,278
2012	34,501	470,066	6,004	13,408	131,762	615,236
2015	45,370	618,153	7,451	16,639	173,001	807,793
2020	61,839	842,539	9,359	20,900	235,314	1,098,753
2025	80,300	1,094,065	11,266	25,159	305,023	1,424,247
2030	100,664	1,371,519	13,174	29,420	381,799	1,782,737
2037	129,966	1,770,750	15,082	33,681	491,763	2,296,194

- Residuos Sólidos

En el caso del municipio de Tulum, la disposición final de residuos sólidos es un pasivo ambiental que a la fecha no se ha podido resolver, ya que se continúa empleando el tiradero a cielo abierto ubicado a 10 km de la ciudad de Tulum, en donde se depositan diariamente alrededor de 60 toneladas diarias de residuos y cuyos lixiviados se infiltran sin ningún control al subsuelo, hasta la fecha se desconocen las implicaciones ambientales de esta práctica. Por ello se considera una de las problemáticas que requieren de urgente atención.

Debido a que no se cuenta con una estadística actual del volumen de residuos sólidos que se generan en la zona urbana, en la rural y en las zonas turísticas, se realizó una estimación de los valores empleando los siguientes valores: En el caso de las áreas urbanas, se tomó como base el resultado obtenido por el Grupo Ecológico del Norte que estimó una generación de 0.897 Kg por habitante (**Tabla 20**) y para las zonas rurales 0.673 kg diarios por persona que corresponde al 75 % del valor de las zonas urbanas (**Tabla XXI**). Para el sector turístico se empleó un valor de 5.50 kg por turista por día (ECOZ), considerando una estancia promedio de 6 días (**Tabla XXII**).

Tabla 20 –Proyección la generación de residuos en las ciudades del Municipio Tulum.

SECTOR URBANO		TONELADAS		
Año	Población	Anual	Mensual	Diario
2000	10,716	3,508	292	10
2005	17,407	5,699	475	16
2010	20,920	6,849	571	19
2012	26,483	8,671	723	24
2015	34,826	11,402	950	32
2020	47,468	15,541	1,295	43
2025	61,638	20,181	1,682	56
2030	77,270	25,298	2,108	70
2037	99,762	32,663	2,722	91

Tabla 21 –Proyección de la generación de residuos sólidos en la zona rural del Municipio Tulum. En este caso se considera todos los

poblados ubicados fuera de las zonas urbanas incluyendo la colonia de pescadores Rojo Gómez.

SECTOR RURAL		TONELADAS		
Año	Población	Anual	Mensual	Diario
2000	3,244	797	66	2
2005	5,270	1,295	108	4
2010	6,334	1,556	130	4
2012	8,018	1,970	164	5
2015	10,544	2,590	216	7
2020	14,371	3,530	294	10
2025	18,662	4,584	382	13
2030	23,394	5,747	479	16
2037	30,204	7,419	618	21

Tabla 22 –Generación de residuos sólidos por el sector turístico del Municipio Tulum. Se considera la generación de residuos sólidos a partir de los cuartos hoteleros registrados para 2011 y con una tasa de ocupación anual del 73%.

Sector Turismo		Total	%	Total					
Año	Turistas	Cuartos Operando	Ocupación Anual	Cuartos Ocupados					
2000	161,085	1,595	83%	1,331					
2005	308,307	3,519	72%	2,529					
2010	494,334	5,543	73%	4,026					
2012	554,343	6,004	73%	4,392					
2015	675,196	7,451	73%	5,445					

Con la finalidad de contar con el escenario integrado de la generación de residuos en el municipio se presenta en **Tabla 23** los valores para cada sector.

Tabla 23 –Escenario Tendencial integrado de la generación de residuos sólidos en el Municipio Tulum.

Año	Urbano	Rural				
2000	3,508	797				
2005	5,699	1,295				
2010	6,849	1,556				
2015	8,000	1,800				

De acuerdo con las estimaciones realizadas se considera que el municipio estará generando un total de 234 toneladas de residuos diariamente, este volumen resulta manejable, pero se deben tener en consideración que este municipio cuenta con múltiples manifestaciones cársticas como los ríos subterráneos, los que condicionan el establecimiento de rellenos sanitarios, ya que se deben proponer medidas adicionales de protección al subsuelo y al acuífero mediante el establecimiento de doble geomembrana reforzadas con un sistema de monitoreo mediante pozos de control ubicados aguas arriba y aguas abajo del mismo. Además, se debe realizar una agresiva campaña de concientización en la minimización de generación de residuos, así como en la separación de residuos desde su origen, así como incentivos para el establecimiento de empresas para reciclaje y reutilización de residuos.

Una acción que se debe emprender de manera inmediata es el establecimiento de un relleno sanitario con doble geomembrana en el territorio municipal para reducir la contaminación ambiental que se genera actualmente en el tiradero a cielo abierto.

IV.6. LOS IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS CONSIDERANDO SUS CAUSAS Y EFECTOS EN TIEMPO Y LUGAR

Para la identificación y valoración de impactos ambientales detectados en el Municipio Tulum, Quintana Roo, se utilizó la metodología propuesta por Conesa Fernández (1997) y Gómez Orea (1999), que consiste en la identificación de las acciones que pueden causar impactos sobre uno o más factores del medio susceptibles de recibirlos, y hacer el cruce en una matriz. En este caso se consideró como sistema ambiental, la superficie municipal para valorar de manera cuantitativa cada tipología de impacto.

Siguiendo la metodología propuesta, se enlistan a continuación las acciones identificadas que causan impactos sobre el medio ambiente dentro del municipio y se hace una breve descripción de lo implica cada una de ellas.

- Acciones que modifican el uso del suelo
- Acciones que implican emisión de contaminantes
- Acciones derivadas del manejo inadecuado de residuos
- Acciones que actúan sobre el medio biótico
- Acciones que actúan sobre el medio abiótico
- Acciones que dan lugar al deterioro del paisaje
- Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural
- Acciones que implican presión en la infraestructura
- Acciones derivadas del incumplimiento de la normatividad ambiental vigente

IV.6.1. Acciones que causan impactos sobre el medio ambiente dentro del municipio

- Acciones que modifican el uso del suelo

Se refiere aquellas actividades contrarias a lo que establecen los instrumentos de uso de suelo ya sea urbano o ambiental o en su caso a la vocación natural de una zona en particular. Tal es el caso del establecimiento de bancos de material que se establecieron fuera de los dos polígonos dentro de la UGA 14 designados por el instrumento de planeación aún vigente.

- Acciones que implican emisión de contaminantes

Aquí se engloban acciones que puedan generar emisión de contaminantes al cualquier componente del medio, aire, suelo, subsuelo y acuífero, que derivan de emisiones a la atmósfera, el mal manejo de residuos sólidos, aguas residuales, sustancias químicas, grasas, aceites, polvos u otras que puedan causar

alteraciones a su estado natural, se incluye también aquellas acciones que puedan promover la defecación al aire libre.

- Acciones derivadas del manejo inadecuado de residuos

Se refiere básicamente al manejo inadecuado de residuos sólidos, la ausencia de un sitio adecuado para su disposición final y a las implicaciones ambientales que ocasiona el tiradero a cielo abierto del que se hace uso actualmente con el escurrimiento libre de lixiviados que se infiltran hasta el manto freático, que es la única fuente de agua potable para la población.

Por otra parte se identifica que no existe una concientización de la separación y minimización de residuos desde la fuente de origen por parte de la población local y los comercios en el municipio.

- Acciones que actúan sobre el medio biótico

Se refiere a las afectaciones a la estructura, composición y cobertura de las diferentes vegetaciones que se desarrollan al interior del municipio y que son prácticamente el primer componente ambiental que sufre las alteraciones por las actividades económicas que se practican en el Municipio, ya que es necesario el desmonte para la explotación forestal, el establecimiento de superficies agrícolas, pecuarias, bancos de material, comercios, centros urbanos y turísticos, infraestructura, entre otros.

Como efecto sinérgico del desmonte se presenta la afectación a las poblaciones de fauna silvestre por la reducción y fragmentación de su hábitat, aunque la mayoría cuenta con la capacidad de desplazarse rápidamente a sitios con menor perturbación. Sin embargo, hay que tomar en cuenta especies o individuos que son de lento desplazamiento, ya sea por su naturaleza o por su edad.

Dentro de ambos componentes ambientales existen especies que además de la importancia ecológica que representan, cuenta con protección legal de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que se toma en cuenta este estatus para definir un impacto adicional a estos componentes. Aquí se incluye también la afectación de las especies que habitan en los cenotes donde se practica el espeleobuceo.

- Acciones que actúan sobre el medio abiótico

Se refiere a afectaciones a la estructura del suelo y subsuelo por actividades de extracción de materiales pétreos, así como su pérdida y riesgo de contaminación por grasas, aceites y combustibles de la maquinaria utilizada para esta actividad. Se incluye además el riesgo de contaminación, así como del manto acuífero por actividades del turismo de aventura, mal manejo de aguas residuales, actividades industriales y en menor escala por actividades agropecuarias.

Otro factor que altera el manto acuífero es la extracción de volúmenes de agua para diferentes actividades, ya que es la única fuente de suministro tomando en cuenta la ausencia de cuerpos de agua superficiales en el Municipio, a excepción de algunas lagunas intermitentes.

- Acciones que dan lugar al deterioro del paisaje

Se refiere a los desmontes, disposición inadecuada de residuos, desarrollo urbano, el establecimiento de parcelas y la apertura de bancos de material, entre otras actividades antropogénicas que traigan cambios a los paisajes originales. Se incluyen además las aquellas derivadas de eventos naturales, para el caso del municipio básicamente del paso de huracanes y de incendios posteriores a éstos.

- Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural

Estas se enfocan básicamente en los cambios que presentan la estructura social, la economía y los patrones culturales de la población, derivados de la migración de la población en ambos sentidos. El primero la inmigración de población provenientes de otras entidades e incluso el extranjero principalmente a los centros turísticos del municipio, a la cabecera municipal, y los poblados costeros, Akumal y Chemuyil en busca de empleo o una mejor calidad de vida. El segundo la emigración de habitantes de las poblaciones al interior del municipio en la zona maya a las zonas costeras de igual manera en busca de oportunidades laborales ante la falta de apoyo para las actividades primarias que han sido practicadas de manera ancestral por sus antecesores, aunados a la pobreza del suelo.

Esta migración trae como consecuencia cambio en los patrones culturales de un lugar, principalmente en la disminución del uso de lenguas indígenas, la identidad, y la estructura social.

- Acciones que implican presión en la infraestructura

Se refieren al requerimiento de infraestructura para atención de las zonas turísticas y los centros de población existentes. Referente principalmente a las vías de comunicación, la dotación de agua potable, drenaje, energía eléctrica e infraestructura educativa.

- Acciones derivadas del incumplimiento de la normatividad ambiental vigente

Se trata de acciones derivadas de las actividades económicas que puedan causar incumplimientos a la legislación y normatividad ambiental vigente. Ya sea por ignorancia al respecto de su existencia como es el caso de especies protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010, como lo expresaron ejidatarios de la zona maya al

respecto, con el desmonte para el establecimiento de parcelas agrícolas y caza de autoconsumo que realizan para completar la manutención de sus familias. De igual manera comentaron del aprovechamiento forestal en algunas zonas sin ningún tipo de regularización.

Otro caso se ha llegado a dar por la construcción de inmuebles turísticos en la zona costera sin autorización por parte de las autoridades en materia ambiental, referentes a la evaluación de impacto ambiental y cambio de uso de suelo en terrenos forestales.

Este incumplimiento también está en función de la disposición de aguas residuales de los centros de poblaciones urbanas y rurales, la zona turística de la cabecera municipal, así como el manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos, ambos derivados de la falta de infraestructura adecuada para un manejo adecuado.

IV.6.2. Identificación, valoración y descripción de impactos potenciales

- Identificación de impactos

Con base en el análisis previo, los impactos ambientales potenciales identificados en el Municipio Tulum son los indicados en **Tabla 24**.

Tabla 24 –Impactos ambientales identificados para el Municipio Tulum. Se indican los impactos ambientales potenciales identificados.

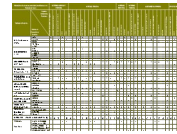
IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL	NATURALEZA	CARACTERÍSTICA
Reducción de cobertura vegetal	Negativo	Moderado
Afectación a la fauna	Negativo	De Moderado a Ambientalmente Compatible
Afectación a especies que cuenta con estatus legal	Negativo	De Moderado a Ambientalmente Compatible
Contaminación al suelo, subsuelo y acuífero	Negativo	De Moderado a Ambientalmente Compatible
Pérdida y calidad del suelo	Negativo	Moderado
Requerimientos de agua	Negativo	Moderado
Manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos		Moderado
Modificación del paisaje natural	Negativo	Moderado
Riesgos de incendios	Negativo	Moderado

IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL	NATURALEZA	CARACTERÍSTICA
Incremento en la presión de la infraestructura existente		Moderado
Conflicto social por el uso de recursos naturales renovables		Moderado
Modificación de los patrones demográficos		Moderado
Derrama económica		Moderado
Generación de empleos		Moderado
Riesgos para la población		Moderado

- Valoración de impactos

Con la información presentada en el cuadro anterior y siguiendo la metodología de Conesa (1997), se califica el valor de importancia de los impactos ambientales potenciales identificados en el municipio, (**Tabla 25**). En los últimos renglones se presenta una escala de valores que permiten calificar los impactos identificados, donde los valores inferiores o iguales a 25 son compatibles, aquellos que se encuentren entre 25 y 50 se consideran moderados, entre 50 y 75 severos y superiores a 75 deben considerarse críticos. Adicionalmente se incluye un renglón donde se determina la naturaleza del impacto, cuyos valores son positivos (+), negativos (-) o neutros (0).

Tabla 25 -Matriz de Valoración de Impactos ambientales identificados en el Municipio Tulum. Se identifican los impactos que existen o pueden derivar de diferentes actividades económicas en Tulum calificados según diferente tipología.



- Descripción de impactos de acuerdo a la actividad económica

A continuación se hace la descripción de los impactos identificados de acuerdo a las actividades económicas del municipio.

ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y PECUARIA

Dentro de esta actividad se detectaron cinco impactos principales, todos de naturaleza negativa, de los cuales cuatro se calificaron como moderados y uno como compatible; a continuación se describen a cada uno de ellos y se explica la razón del valor otorgado a cada tipología.

- Reducción de la cobertura vegetal

El retiro de la cubierta vegetal para las actividades agrícolas se califica como impacto negativo para el ambiente y afecta principalmente a la vegetación de Selva Mediana Subperennifolia. Tomando el área municipal como la zona delimitada como área de influencia, podemos determinar que la intensidad del impacto se considera baja ($In=1$) teniendo en cuenta que la superficie agrícola ha disminuido en los últimos 15 años y se ha registrado una recuperación de la vegetación de selva donde anteriormente se observaban parcelas desprovistas de vegetación adecuadas para la producción agropecuaria, principalmente de autoconsumo. Se calificó como un impacto de extensión puntual ($Ex=1$) pues de acuerdo a los resultados de la caracterización ambiental municipal, estas superficies de agrícolas se ubican principalmente en los ejidos ubicados en el límite Oeste y Noroeste del municipio, en los poblados de Chanchen I, Yaxche, Chanchen palmar, Sahcab Mucuy y en menor proporción en Cobá, Francisco Uh May y Macario Gómez, ocupando una extensión de 3,298 Ha que corresponde al 1.66 % del municipio.

El plazo de manifestación de un desmonte se da de forma inmediata ($Mo= 4$), pues ocurre en cuanto se retira la vegetación y generalmente este plazo para esta actividad dura menos de un año. Aunque como se menciona en el apartado III de este pronóstico, su persistencia es temporal ($Pe=2$) pues la duración del efecto puede ser menor a los cinco años si se abandona la actividad, y puede retornar a sus condiciones anteriores por medios naturales considerando la resiliencia a través de la sucesión ecológica de la vegetación ($Rv=2$).

Este impacto para esta actividad se califica como mitigable ($Rc=4$) ya que se puede capacitar a los agricultores para que lleven a cabo acciones de rescate de vegetación, poniendo especial atención a aquellas especies que se encuentran incluidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y otras especies de flora nativa que puedan ser de interés comercial, ecológico u ornamental. Se

puede capacitarlos para el establecimiento de Unidades de Manejo y en un plazo mediano comercializar especies nativas para aprovechamiento forestal u ornamental para proyectos inmobiliarios turísticos o urbanos.

Se considera un impacto de efecto directo (E=4) pues incide directamente sobre la flora que se desarrolla actualmente en las parcelas destinadas a las actividades agrícolas. Además se trata de un impacto sinérgico (S=2), pues trae afectaciones a la fauna silvestre con la reducción y fragmentación de su hábitat, así como a la modificación del paisaje. Su incremento es acumulativo respecto a la reducción de la cobertura de otras áreas donde se establecen áreas de cultivo o pecuarias (A=4).

Este impacto puede ocurrir de manera periódica (Pr=2), pues está relacionado a la necesidad de los pobladores de las zonas ejidales y rurales de contar con tierras abiertas para el establecimiento de sus áreas para la siembra. Este impacto para la actividad agropecuaria adquiere un valor de importancia de -29 que lo refiere a la categoría de impacto ambiental moderado, tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

- Afectación temporal a la fauna

Este impacto está relacionado con el desplazamiento de las especies de fauna a causa de la reducción y fragmentación de su hábitat por el desmonte para el establecimiento de parcelas agrícolas. En el entendido que el desmonte por estas actividades se realizan en zonas muy puntuales del municipio y que la mayoría de las especies de fauna poseen la capacidad de desplazarse a sitios de menor perturbación y la mayoría de los individuos en vida silvestre no toleran la presencia humana, se califica como un impacto de intensidad baja (In=1).

La influencia de este impacto por la actividad agrícola se califica como de extensión puntual (Ex=1) dado que la fragmentación de la vegetación y reducción del hábitat se da en parcelas agrícolas, principalmente en los poblados de Chanchen I, Chanchen Palmar, Hondzonot y Yaxché, y en menor escala en Cobá, Macario Gómez y San Silverio.

Una vez realizada la remoción de la vegetación, la reducción y fragmentación del hábitat de la fauna es de manera inmediata y su desplazamiento se manifiesta con la presencia humana, por lo que el efecto se presenta en un corto plazo (Mo=4). El impacto es temporal, pues una vez que las parcelas son abandonadas la capacidad de recuperación de la vegetación de la selva se da en un periodo de menos de 5 años (Pe=2); por esta misma razón se califica como un impacto reversible a

mediano plazo ($Rv=2$), considerando que las áreas afectadas desmontadas retornan a sus condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales.

Se pueden establecer la política de realizar el desmonte de manera paulatina para dar oportunidad de que las especies de fauna se desplacen a sitios con menor perturbación, por lo que la recuperación de este elemento por medios humanos puede ser mitigable ($Rc=4$). Se pueden establecer también restricciones acerca de no molestar o cazar a ciertas especies, aunque sería difícil establecer su efectividad debido a los patrones culturales de las estas zonas rurales donde se realiza esta actividad para autoconsumo.

Las afectaciones de este impacto son indirectas ($E=1$), pues las poblaciones de fauna ven afectado su hábitat a consecuencia del desmonte en la preparación de las parcelas para uso agrícola o pecuario. La afectación a la fauna es un impacto de sinergia simple ($S=1$) pues no se detecta que deriven más afectaciones a otros elementos naturales.

Esta afectación se puede incrementar con el tiempo y por otras actividades económicas diferentes y es posible que la zona de influencia de afectación a la fauna por las actividades agropecuarias se sumen a éstas, por lo que se considera acumulativo ($A=4$). Este impacto puede ser periódico ($Pe=2$) pues va de la mano con los desmontes que se realicen para el establecimiento de parcelas agrícolas o para uso pecuario.

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -25 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 4 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 4 + 2]$$

- Afectación a las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

De acuerdo a la caracterización ambiental del municipio se reportaron 82 especies catalogadas con algún estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 para la fauna. De las cuales sólo 21 podrían ser afectadas por el desmonte por actividades agrícolas de acuerdo a las zonas para las que se reportan dentro del municipio, 2 especies de anfibios, 4 de reptiles, 9 de aves y 6 de mamíferos.

Para la vegetación se reportan 11 especies de flora con protección legal, de las cuales por su distribución en la Selva Mediana y las derivadas de esta misma, las podrían resultar afectadas por actividades agrícolas, solamente se incluyen a la palma chit (*Thrinax radiata*) y el jobillo (*Astronium graveolens*) catalogadas ambas como amenazadas.

De acuerdo a lo anterior y aunque para las especies de flora protegidas no se produzca un impacto significativo, este impacto se califica como de intensidad media (In=2) debido a que un 25 % de la fauna protegida reportada para el municipio se ubica en las zonas agrícolas.

La extensión de este impacto se califica como puntual (Ex=2) para esta actividad pues se localiza en zonas rurales al Oeste y Noroeste del Municipio prácticamente. La manifestación del impacto a las especies con protección legal se da en un momento inmediato, tanto para la vegetación como para la fauna al momento del desmonte de parcelas para el uso agrícola (Mo=4).

La persistencia del efecto es temporal (Pe=2) considerando que la vegetación tiene la capacidad de regenerarse una vez que las parcelas agrícolas o pecuarias se abandonan. La reversibilidad para la regeneración de la selva y la repoblación por parte de la fauna puede darse a un mediano plazo (Rv=2).

Se considera que podrían aplicarse medidas de mitigación (Rc=4) informando a los pobladores acerca de la protección legal de las especies de flora y fauna reportadas para la zona, ya que durante las entrevistas directas en los talleres sectoriales algunos de los habitantes de los poblados rurales manifestaron que ignoraban que algunas de éstas cuentan con protección legal, y desconocen cuáles sean.

El efecto de este impacto sobre este elemento del medio se considera que es indirecto, pues es el resultado de las actividades del desmonte que se realizan para la apertura de parcelas agrícolas y no se enfocan en sí a la afectación de estas especies en particular (E=1). Se trata además de un impacto de sinergia simple (S=1) pues no se derivan más impactos por esta causa.

Se califica como acumulativo (A=4) pues la afectación a especies con protección legal por esta causa, se suma a la afectación que pueden producir otras actividades económicas o desarrollo urbano dentro del municipio. Sin embargo la periodicidad se puede calificar como irregular o discontinua (Pr=1) por el hecho de que se trata de especies específicas que podrían o no estar presentes en las áreas afectadas.

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -29 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 4 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 4 + 1]$$

- Afectación al suelo, subsuelo y acuífero

Esta afectación está relacionada al riesgo de contaminación a estos elementos bióticos por el uso de agroquímicos para la fertilización y mantenimiento de los cultivos. Considerando que la técnica agrícola y pecuaria en el estado es prácticamente para autoconsumo, y el uso de agroquímicos es limitado debido a los altos costos que resultan para los agricultores de las zonas rurales que cuentan con escaso apoyo económico, se califica como un impacto de baja intensidad (In=1) y de extensión puntual (Ex=1).

El momento de manifestación de riesgo de contaminación se puede manifestar a mediano plazo (Mo=2) considerando que el uso de agroquímicos no es tan frecuente y en ocasiones podrían no utilizarse dependiendo del tipo de cultivo que se realice o de la capacidad económica del productor.

La persistencia se califica como fugaz (Pe=1) pues se considera que de existir escurrimientos de estas sustancias al suelo no serán representativas en un área de cultivo y pueden ser absorbidos directamente por microorganismos y plantas o pueden perderse por volatilización y lavado de agua lluvia. Por esta última razón se considera como un impacto con reversibilidad a mediano plazo (Rv=2).

Se pueden aplicar medidas de mitigación (Rc=4) con el apoyo a los agricultores para la compra de químicos de bajo impacto para el sector agrícola, los cuales han sido promovidos en los últimos años como una opción más amigable para el ambiente en el sector agrícola. Se considera como un impacto de efecto indirecto (E=1), pues el riesgo de contaminación deriva de la necesidad de mantener en buenas condiciones los cultivos o erradicar plagas en el sector pecuario.

Aunque se considera que es remota la contaminación al acuífero subterráneo por esta causa, si llegará a ocurrir el escurrimiento de lixiviados, este impacto traería impactos sinérgicos como daños a la salud, considerando que es la única fuente de abasto para la población, la eutrofización del medio acuático disminuyendo el oxígeno para fauna que habita este medio, entre otros (S=2).

Se califica como un impacto de acumulación simple (A=1) considerando la mayor parte de las actividades agrícolas que se realizan en el municipio son para autoconsumo, y que el uso de agroquímicos es muy bajo en relación a otras partes donde se realiza una agricultura intensiva. Se califica por lo tanto como un evento irregular o discontinuo por las mismas razones (Pr=1).

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -19 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 1 + 2 + 4 + 1 + 2 + 1 + 1]$$

- Riesgos de incendios por quemas agrícolas

La técnica ancestral utilizada por la población maya para la limpieza de parcelas agrícolas ha sido la utilización de fuego, aunque en las entrevistas realizadas en el sector ejidal a pobladores cuya actividad principal aseguran que ya no se utiliza “la tumba, roza, quema”, la realidad es que el uso del fuego para la agricultura es responsable de un importante número de incendios forestales en el municipio. Resultado de ello, el suelo de la selva se degrada y numerosas especies típicas de la vegetación madura son incapaces de sobrevivir bajo un régimen de incendios constantes.

Considerando lo anterior este impacto se califica como de intensidad media ($In=2$) y extensión parcial ($Ex=2$), pues como es conocido el fuego combinado con rachas de aire en una vegetación sin fronteras puede llegar a afectar varios kilómetros a su alrededor desde el punto de origen. El momento de manifestación del riesgo de este impacto es inmediato ($Mo=4$), mientras que la permanencia de sus efectos puede ser temporal ($Pe=2$) considerando que llevará hasta 5 años la recuperación de terrenos incendiados a una vegetación.

La reversibilidad por medios naturales es factible a mediano plazo considerando la capacidad de recuperación de la vegetación de la selva para retornar a sus condiciones originales por sus propios medios, considerando que muchas especies pueden germinar o rebrotar después de un incendio ($Rv=2$). Existen medidas de mitigación ($Rc=4$) para disminuir el riesgo de incendios por esta actividad primaria, que son realizar este trabajo de manera manual, con la ayuda de maquinaria, o aprovechando áreas abiertas.

El efecto de este impacto es directo ($E=4$) pues deriva de la necesidad de obtener áreas abiertas para el cultivo de parcelas o uso pecuario. Su efecto es sinérgico ($S=2$) pues además de afectar a la vegetación, afecta a la fauna, y puede incluso causar muertes humanas y afectaciones económicas por pérdida de bienes materiales a los habitantes de las zonas rurales.

Se califica como un impacto acumulativo ($A=4$) debido a que las superficies afectadas por los incendios derivados por esta actividad se pueden sumar a las áreas que se incendian naturalmente en la época de secas o después del paso de un huracán. Se considera como un impacto que se manifiesta de manera irregular ($Pr=1$) pues depende de la periodicidad con que los agricultores requieran de espacios para siembra, de si utilicen o no esta técnica y del control que realicen del fuego en sus parcelas.

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -32 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 4 + 2 + 2 + 4 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

ACTIVIDAD TURÍSTICA

Dentro de esta actividad se registraron 12 impactos ambientales, 10 de ellos de naturaleza negativa y dos positivos. Once fueron calificados como moderados y uno compatible, enseguida se describen los criterios utilizados para la calificación de cada tipología.

- Reducción de la cobertura vegetal

La afectación a la vegetación por esta actividad se centra principalmente en la zona costera del municipio y por lo tanto los tipos de flora afectados son la vegetación de duna costera, en menor escala el manglar y posteriormente las selvas baja y mediana. El establecimiento de infraestructura turística a lo largo de la costa de la cabecera municipal, así como parte de la Riviera Maya perteneciente a Tulum han traído como consecuencia cambios en la estructura y composición original de la vegetación de duna costera y disminución de su cobertura, ya que prácticamente por “estética” ésta es retirada de la zona de playa o se introducen especies exóticas, como es el caso de pino de mar (*Casuarina equisetifolia*), palma de coco (*Cocos nucifera*), almendro (*Terminalia catappa*), además de otras especies ornamentales.

Respecto al manglar que de acuerdo a la caracterización ambiental municipal ocupa 5,638.15 Ha, sólo el 28.95 % se ubica dentro de predios costeros privados, el resto se distribuye en las ANP Parque Nacional Tulum y Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. La afectación a esta vegetación por la actividad turística es mínima y no representativa a nivel municipal. Lo mismo ocurre para la vegetación de selva baja y selva mediana que su afectación por esta actividad resulta insignificante considerando la superficie que ocupan dentro del territorio municipal 40,436.01 Ha y 116,971.31 Ha respectivamente.

De acuerdo a lo anterior la afectación a la vegetación por la actividad turística se centrará particularmente en la vegetación de duna costera y en mucha menor proporción en la de manglar. En ese entendido la intensidad de este impacto se califica como de intensidad media (In=2) aunque de extensión puntual (Ex=1), pues la vegetación de duna costera ocupa solamente 997.17 Ha dentro del municipio es decir el 0.49 % de la superficie municipal y el manglar que pudiera ser afectado por

esa actividad solamente es de 1, 632.24 Ha que corresponde al 0.79 % (se refiere al reportado en predios costeros fuera de las ANP's).

El momento de manifestación se ha catalogado como de mediano plazo (Mo=2), pues a pesar de que este impacto se da inmediatamente, de manera global se ha realizado desde hace décadas con la construcción de cabañas y ecohoteles en la línea costera.

Se califica como un impacto permanente (Pe=4) pues su efecto ha durado más de 30 años desde que se ha dado promoción turística al estado, y se ha ido incrementado durante los últimos 15 años.

La reversibilidad de este impacto, dejando a un lado las labores de mantenimiento de las playas en centros turísticos grandes con el retiro de la vegetación pionera, puede darse a mediano plazo (Rv=2) considerando la capacidad de recuperación de las especies de duna costera. Además se pueden realizar medidas de mitigación (Rc=4) para promover la recuperación de esta vegetación, con la integración de elementos arbóreos y arbustivos propios de este tipo de vegetación a las construcciones turísticas, como se ha dado en algunos proyectos visitados para la generación de información de la caracterización ambiental municipal, la propagación de especies y la reforestación de algunas zonas a manera de jardinería.

El efecto de este impacto sobre la vegetación es directo (E=4) pues deriva del interés de abrir espacios en esta vegetación para albergar construcciones turísticas. Se trata de un impacto sinérgico (S=2) que trae consigo la afectación a la fauna por la reducción y fragmentación del hábitat, cambios en la topografía de la línea de costa por la falta de captadores de sustratos, posible erosión de algunas zonas.

Se trata de un impacto acumulativo (A=4) pues se suma a las áreas que sufren el retiro de la cubierta vegetal dentro del municipio por otras actividades económicas. Se califica como un impacto periódico (Pr=2) considerando que la vocación de la zona es turística, y aunque se han hecho esfuerzos por conservar el concepto de baja densidad, el retiro de la vegetación de duna costera es casi obligado por considerarla poco estética en muchas ocasiones.

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -32 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 4 + 2 + 4 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

- Afectación de flora y fauna por las actividades de construcción y operación

Esta afectación se refiere los cambios en la composición de la flora nativa con la introducción de especies exóticas y ornamentales, así como afectaciones a los individuos diferentes a las actividades de desmonte, como aplastarla con materiales de construcción, apertura ilegal de espacios para la instalación de infraestructura eco turística, entre otros. Respecto a la fauna se trata de ser molestada, cazada o capturada en la etapa de construcción de algún inmueble turístico, cambios en su dieta y promover su caza por fauna doméstica, en la etapa operativa.

Se califica como un impacto de intensidad baja (In=1) considerando que la mayor parte de esta actividad se realiza casi de manera exclusiva en la porción costera, y en menor medida en el poblado de Cobá aprovechando la presencia del sitio arqueológico del mismo nombre. Por esta misma razón se califica como un impacto de extensión puntual (Ex=1).

Se califica como un impacto cuya manifestación se dado a mediano plazo (Mo=2) debido a que esta actividad a diferencia de los municipios vecinos ha despuntado de manera más paulatina. La persistencia es temporal (Pe=2) pues la vegetación y la fauna tienen la capacidad de regenerarse rápidamente de afectaciones menores. Por esta misma razón la reversibilidad se califica como de mediano plazo (Rv=2).

Existen medidas de mitigación (Rc=4) que puedan ayudar a proteger la flora y fauna en las labores constructivas, que pueden ser tapiar y respetar las zonas que no interfieran con los sembrados arquitectónicos, la colocación de letreros que inciten a la protección de la fauna silvestre, entre otras.

El efecto de este impacto es indirecto (E=1), pues básicamente deriva del descuido por parte del personal involucrado en la construcción o en su caso de los visitantes hacia la flora y fauna local. Se trata de un impacto de sinergia simple (S=1) pues no representa mayores implicaciones.

La regularidad de manifestación de este impacto puede darse de manera periódica considerando que la actividad económica preponderante en el municipio es la turística (Pr=2).

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -20 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 1 + 2]$$

- Afectación a las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Respecto a las especies de flora que se reportan para la vegetación de duna costera, se reporta a la palma chit (*Thrinax radiata*) y nacax (*Coccothrinax readii*), mientras que para la vegetación de manglar, se mencionan las cuatro especies de mangle, *Rhizophora mangle*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. Aunque estas últimas debido a la regulación legal que existe respecto a su uso y conservación, y las implicaciones que trae su afectación, su afectación es reducida en comparación las especies presentes en la duna costera. Respecto a la fauna con protección legal y que de acuerdo a la caracterización ambiental se distribuyen en ambientes costeros y que puedan verse afectadas por las actividades turísticas, se encuentran las cuatro especies de tortugas marinas que anidan en las playas municipales, 24 de aves, cuatro de anfibios y 28 de reptiles, así como 9 especies estigobias que habitan los sistemas de cuevas inundadas en donde se practica el espeleobuceo.

Considerando que existe el riesgo potencial de afectar a 65 especies de diferentes grupos de fauna y a seis de flora con protección legal, este impacto se califica como de intensidad media ($I_n=2$) considerando que este número representa el 79.26 % de las especies reportadas para el territorio municipal. Aunque la actividad turística se lleva a cabo en la zona costera o en caso del espeleobuceo a escasos kilómetros continente adentro, se califica como un impacto de extensión puntual ($E_x=1$).

Se califica como un impacto que se ha manifestado a un mediano plazo ($M_o=2$) considerando que esta actividad ha repuntado en los últimos 15 años, cuando se empezó a promover la Riviera Maya en la que se incluyen los poblados de Akumal, Chemuyil y la cabecera municipal, tiempo en el que se ha aumentado el riesgo a las especies con estatus legal. La persistencia de afectación se califica como temporal ($P_e=2$) considerando la capacidad de la fauna de alejarse ante un peligro inminente o la presencia humana, al igual que la capacidad de la vegetación de recuperarse después de ser sometida a agentes estresantes (desmontes, incendios, tala selectiva, entre otros). La reversibilidad por medio naturales por estas mismas causas mencionadas se califica como retornable a mediano plazo ($R_v=2$).

En este caso es más factible la toma de medidas de mitigación ($R_c=4$), obligando a los promoventes de actividades turísticas a realizar rescates selectivos de vegetación, enfocados a proteger el germoplasma de las especies de flora protegida, al igual establecer medidas de protección para la fauna. En el caso de las actividades de espeleobuceo habrá que regular el número de personas que puedan practicar actividades en los sistemas en los que se tenga identificada la presencia de fauna estigobia con protección legal.

Se trata de un impacto de efecto indirecto ($E=1$), pues la causa posible de su afectación derivada del interés de los promoventes de la actividad turística de proveer al visitante de alojamiento y ofrecer actividades que tengan contacto con la

naturaleza, sin tomar en cuenta en este último caso la fragilidad y poca tolerancia de algunas especies respecto a la invasión de su hábitat.

Su sinergia se califica como simple ($S=1$) pues no se anticipan impactos adicionales a él. Es acumulativo ($A=4$) pues se suma a la afectación de especies protegidas legalmente por otras actividades económicas. De manifestación periódica ($Pr=2$) pues esta actividad económica es la predominante en el municipio, y los efectos de ésta están de manera latente, por lo que es importante regular tanto el desarrollo inmobiliario como las actividades complementarias que ofrecen paseos a diferentes ecosistemas.

Con base en lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -26 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 4 + 2]$$

- Afectación al suelo, subsuelo por riesgos de contaminación

Esta afectación está enfocada a los riesgos de contaminación derivados del fecalismo al aire libre, el mal manejo de sustancias o combustibles, la mala disposición de aguas residuales y residuos sólidos por falta de infraestructura o mal funcionamiento de ésta.

Se califica como un impacto de intensidad media ($In=2$) a pesar de que en los últimos años en este sector se promueve la separación y manejo adecuado de residuos sólidos urbanos, la ausencia de un relleno sanitario municipal contribuye a que esté latente el riesgo de contaminación a estos elementos del medio ya que la disposición final se realiza en un tiradero a cielo abierto, y esta actividad es la que más genera residuos sólidos en el municipio.

Respecto al riesgo de contaminación por aguas residuales no es menos importante, pero la mayoría de los centros de hospedaje invierten en la fase del diseño en resolver el manejo de éstas ante la ausencia de una infraestructura municipal.

Considerando que esta actividad se desarrolló en su mayoría en la costa se califica con una extensión puntual ($Ex=1$).

El momento de manifestación de este impacto se da de manera parcial en el medio que ocurra ($Mo=2$) pues a la larga es la acumulación en sitios específicos lo que la hace evidente. Su persistencia puede ser permanente en el caso de residuos sólidos ($Pe=4$) pues existen materiales de residuos sólidos que tardan años en degradarse, no así en caso en el caso de otros generadores de contaminación

arriba mencionados. De igual manera la reversibilidad por medios naturales no es posible ($Rv=4$) considerando que gran parte de residuos sólidos son materiales que la naturaleza no tiene la capacidad para degradarlos por sus propios medios.

Es posible establecer varias medidas de mitigación ($Rc=4$) para prevenir en gran medida los riesgos de contaminación al suelo y subsuelo por el manejo inadecuado de residuos sólidos, aguas residuales, combustibles, entre otros, tanto para la construcción de inmuebles turísticos así como las actividades operativas.

El efecto de este impacto es indirecto ($E=1$) pues generalmente este riesgo se origina por el hecho de no plantear estrategias para solucionar de antemano el manejo de residuos sólidos y líquidos, o prevenir actividades que puedan ser agentes de riesgo de contaminación, sobre todo considerando que gran parte de la zona costera del municipio carece de infraestructura para la disposición de aguas residuales, entre otros.

Se trata de un impacto sinérgico ($S=2$) pues además de los riesgos de contaminación, se puede propiciar la aparición de fauna nociva y de enfermedades gastrointestinales. Se considera acumulativo ($A=4$) pues se suma al posible riesgo de contaminación por la misma razón de un manejo inadecuado en otras actividades económicas del municipio.

La regularidad de la manifestación de este impacto es continua ($Pr=4$) pues se da de manera diaria por esta actividad en la zona costera.

De acuerdo a lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -33 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 4 + 4 + 4 + 1 + 2 + 4 + 4]$$

- Afectación al acuífero

La actividad turística puede afectar a este elemento del medio por dos motivos, riesgo de contaminación por el mal manejo de residuos tanto sólidos como líquidos, así como su explotación para satisfacer la demanda de agua para su operación.

Los riesgos de contaminación derivan de la mala disposición de aguas residuales, la falta de regulación de las actividades de espeleobuceo, y la disposición inadecuada de residuos sólidos principalmente. Mientras que la demanda para su operación aun cuando en muchas ocasiones no se realice en la zona costera a través de pozos, el agua se transporta en pipas y como se ha reiterado la única fuente de abastecimiento en el municipio es el manto freático.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el impacto al manto acuífero por esta actividad se considera de intensidad alta ($I_n=4$) pues al ser la única fuente de agua potable en el municipio es importante establecer políticas y estrategias tendientes a la protección de este recurso.

La extensión de esta afectación hasta este momento se considera parcial ($E_x=2$) pues los reportes de contaminación se ubican de manera muy puntual pero el riesgo es latente en los sitios que se utilizan para actividades turísticas o donde exista infraestructura de este tipo.

El momento de manifestación puede darse a mediano plazo ($M_o=2$) pues la suma de puntos contaminantes pueden darse en un periodo mayor a un año por esta actividad. La persistencia puede ser temporal ($P_e=2$) considerando que existen factores físicos y químicos que pueden atenuar, retardar e incluso eliminar su afectación a este medio. En este mismo sentido se considera que puede ser reversible de manera natural a un mediano plazo ($R_v=2$).

Existen medidas de mitigación ($R_c=4$) que es importante aplicarlas para evitar al máximo los riesgos de contaminación al acuífero, entre las que podemos destacar la importancia de implementar plantas de tratamiento municipales, la vigilancia ambiental de las zonas que no cuenten con el servicio de drenaje y usen sistemas alternativos, la vigilancia estricta de las actividades de buceo en cuevas inundadas, entre otras.

Respecto a la relación causa efecto de este impacto se califica como indirecto ($E=1$) pues el riesgo deriva de la falta de infraestructura municipal para llevar a cabo la disposición adecuada de aguas residuales, la poca vigilancia de las actividades turísticas en el manto freático, la falta de monitoreo para conocer el estado actual de contaminación en aguas subterráneas municipales, entre otros.

Se califica como un impacto muy sinérgico ($S=4$) debido a la importancia de este elemento del medio para la actividad turística y para la población en general, así como la fauna de importancia ecológica que habita en este sistema. Además se califica como acumulativo pues se suma al riesgo de contaminación por actividades agrícolas, el desarrollo urbano y la actividad industrial para la extracción de materiales pétreos.

Se califica como un impacto que puede manifestarse de manera periódica ($P_r=2$) pues a pesar de que deriva de una actividad diaria como la turística, se puede decir que los puntos de contaminación que se detectaron en la caracterización ambiental son puntuales.

De acuerdo a lo anterior, se estima que el valor de importancia de este impacto de naturaleza negativa es de -36 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (4) + 2 (2) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 4 + 4 + 2]$$

- Explotación de recursos naturales renovables

Considerando que el diseño arquitectónico de los centros turísticos en su mayoría es de tipo rústico o al menos incluye ciertas estructuras de este tipo en sus construcciones, este impacto está relacionado a la necesidad de materiales forestales para la construcción, entre los que destacan la madera dura o de otro tipo, zacates o palmas para techumbres, plantas nativas para la jardinería, entre otros. De igual manera se incluye el uso del paisaje y otros elementos naturales como atractivo para el turismo.

Considerando que los materiales forestales que se requieren para la construcción se obtienen del municipio vecino Felipe Carrillo Puerto, ya que la actividad forestal en Tulum es incipiente se anticipa que este impacto es de intensidad baja ($I_n=1$), además de que esta actividad explota el paisaje prácticamente en la zona costera y su área de influencia. En cuanto a la extensión se califica como parcial ($E_x=2$), debido a que afectarán los recursos naturales de los lugares de los cuales serán extraídos o adquiridos, los cuales podrán en su mayoría se encuentran fuera del municipio, en ejidos forestales.

Este impacto que se manifiesta en un corto plazo ($M_o=4$), dado que su efecto sobre los recursos se presenta una vez que se comiencen a utilizar, es decir al inicio de la construcción de un nuevo proyecto, cuando algún inmueble requiere mantenimiento o cuando se hace uso del paisaje. Aunque su persistencia será temporal ($P_e=2$) por tratarse de recursos renovables en un promedio de 10 a 15 años en caso de los forestales.

Este impacto se considera que será reversible a mediano plazo ($R_v=2$) por la capacidad de regeneración de la vegetación. Además, el efecto sobre los recursos naturales puede ser reducido mediante la aplicación de medidas de mitigación ($R_c=4$) garantizando que sean adquiridos de manera legal en sitios autorizados y evitar su sobre explotación.

Se trata de un impacto indirecto sobre los recursos naturales ($E=1$) ya que la necesidad de explotación es la provisión de materiales para la construcción por la naturaleza del diseño arquitectónico del proyecto costeros en la mayoría de la zona turística del municipio.

De sinergismo moderado ($S=2$) debido a que su uso podría involucrar el posible desabasto de estos recursos y generar conflictos sociales vinculados con su aprovechamiento.

Se trata de un impacto acumulativo ($A=4$) debido a que la demanda de estos recursos se suma al volumen o cantidad de recursos que han sido extraídos anteriormente. El efecto es periódico ($Pr=2$) pues la construcción y remodelación de inmuebles se da cada tiempo determinado que puede exceder a un año.

Por lo antes expuesto el valor de importancia de este impacto es de -28 por lo que se trata de un impacto adverso ambientalmente moderado y se obtiene de las características calificadas que se representa mediante la siguiente ecuación:

$$I = \pm (3 (1) + 2 (2) + 4 + 2 + 2 + 4 + 1 + 2 + 4 + 2)$$

- Explotación de recursos naturales no renovables

Los materiales pétreos que son necesarios para cualquier tipo de construcción en mayor o menor medida provienen del subsuelo del municipio. Se determinó la existencia de 52 polígonos de bancos de material en el municipio Tulum, con una superficie conjunta de 162 hectáreas ubicados de manera paralela a la Carretera Federal 307, Reforma Agraria Puerto Juárez.

De acuerdo a la caracterización ambiental municipal se detectó la apertura de bancos clandestinos en el municipio, al menos cuatro, el más antiguo y actualmente agotado, se ubica en la cercanía de la ciudad de Chemuyil, uno cercano a la cabecera municipal, un tercero cerca de Akumal, y por último otro en el camino que comunica a Coba con la localidad de San Juan de Dios. Considerando la reserva de este material en los 52 polígonos antes mencionados, este impacto derivado de la actividad turística se califica como de baja intensidad ($In=1$). Este impacto se considera de extensión parcial ($Ex=2$), debido a la localización de los bancos de material pétreo en varios puntos dentro del municipio.

Es un impacto que se manifiesta en un plazo medio ($Mo=2$), dado que su efecto se percibe en un periodo superior a un año, en tanto dure los volúmenes de explotación. Su efecto es permanente ($Pe=4$), pues al término de la vida útil de estos bancos son abandonados y por lo regular no se realizan trabajos de restauración ambiental en ellos.

Este impacto es irreversible debido a que al extraer material pétreo éste es irrecuperable, y su uso va reduciendo su abundancia debido a que se trata de

recursos no renovables (Rv=4). Además la formación de este material de origen geológico se realizó a través de millones de años.

El efecto sobre este recurso natural no renovable puede ser reducido mediante la aplicación de medidas de mitigación (Rc=4), con la apertura de bancos autorizados y regulados de manera que la adquisición del material pétreo se legal y de esta manera evitar su sobre explotación.

Se trata de un impacto indirecto sobre este recurso (E=4) ya que deriva de la necesidad de la provisión de materiales para la construcción. Se califica como de sinergismo moderado (S=2) debido a que la explotación de este recurso da paso a la creación de puntos donde el acuífero queda expuesto o en el mejor de los casos a escasa profundidad, creando focos potenciales de contaminación.

Se trata de un impacto acumulativo (A=4) debido a que el volumen o cantidad de recursos que han sido extraídos, se sumarán a los que se realicen en un futuro ante la apertura de nuevas sascaberas, para satisfacer las necesidades de demanda de la construcción.

La regularidad de manifestación de este impacto es periódica (Pr=2) pues por lo general se debe agotar el recurso en un área específica para ampliar la zona de explotación o para la apertura de nuevos bancos.

Por lo que el valor de importancia estimado para la explotación de recursos no renovables es de - 30 por lo que se trata de un impacto adverso ambientalmente moderado.

$$I = \pm (3 (1) + 2 (2) + 2 + 4 + 4 + 4 + 1 + 2 + 4 + 2)$$

- Incremento de la presión sobre la infraestructura existente

El nuevo municipio de Tulum no cuenta con la infraestructura necesaria para dar un adecuado servicio a la principal actividad económica que es el turismo en sus distintas modalidades, existe la urgente necesidad de dotarlo de infraestructura de transporte, manejo de residuos sólidos urbanos y aguas residuales, la introducción de servicios básicos, principalmente energía eléctrica, agua potable, drenaje y alcantarillado. Así como la apertura de vías de comunicación para los lugares en lo que se pretende establecer turismo de aventura.

De acuerdo con los sectores involucrados en la elaboración del POET municipal se requiere de un libramiento para evitar un caos vial, como se registra en los

municipios vecinos del Norte de la entidad. Además consideran la importancia de contar con un aeropuerto local, para facilitar la llegada de turistas, evitando el traslado de más de una hora -vía terrestre- de los visitantes nacionales y extranjeros desde el actual aeropuerto internacional de la Ciudad de Cancún.

El incremento de la presión sobre la infraestructura existente y la demanda de la construcción de nuevas instalaciones para esta actividad se califica como un impacto de intensidad media ($I_n=2$) pues se requiere grandes esfuerzos para proveer al municipio de ella, hablando en términos generales.

El área de influencia se extiende en varios puntos del municipio, además de la zona costera, ya que varios poblados ejidales ubicados al Oeste del municipio demandan la construcción de caminos de acceso a sus comunidades, para promover el turismo de naturaleza, con la finalidad de complementar de alguna manera sus escasos ingresos derivados de actividades primarias; por ello la necesidad de infraestructura se califica como un impacto de extensión parcial ($E_x=2$).

El plazo de manifestación de este impacto se ha dado en un plazo medio ($M_o=4$) con el auge de esta actividad promovida en gran medida por éxito de los centros turísticos cercanos como son Cancún y Playa del Carmen, aunado a los visitantes que buscan sitios con menor aglomeración y con más contacto con la naturaleza.

La persistencia de este impacto será permanente ($P_e=4$) pues se anticipa que la actividad turística sea la actividad principal para el municipio por lo menos en los próximos 35 años. Al crecimiento de esta actividad económica estará a la par de la demanda de infraestructura para ofrecer un servicio adecuado a los visitantes.

Asimismo, se considera que este impacto irreversible por medios naturales ($R_v=4$) pues no hay medios sin la intervención humana que puedan remediar la falta de infraestructura en el municipio. Se pueden aplicar medidas de mitigación ($R_c=4$) que se enfoquen para minimizar la presión sobre algunas infraestructuras y de hecho varios centros turísticos de zona costera los realiza, con la instalación de fuentes alternativas de energía, la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, la disminución de volúmenes de residuos sólidos generados mediante programas de reciclaje y reutilización, entre otras.

De esta actividad se desprende que el efecto es directo sobre la presión de la infraestructura ($E=4$) debido a que es necesaria para ofrecer mayor confort a los visitantes.

Se considera que el impacto es de tipo sinérgico ($S=2$) pues al no existir la infraestructura adecuada para esta actividad, se generan fuentes de contaminación por el mal manejo de residuos, se desperdicia la oportunidad de explotación de zonas de belleza natural y se cierra la oportunidad a poblaciones

rurales de contar con ingresos alternativos a las actividades primarias con el turismo de naturaleza.

Se considera un impacto acumulativo (A=4) por que la presión a la infraestructura por esta actividad se suma a la de otras actividades económicas y al desarrollo urbano. Además se considera que será continua en los próximos 30 años (Pr=4).

Con base en lo mencionado anteriormente el impacto es calificado como moderado con un valor de importancia de -38, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 + 4 + 4]$$

- Modificación del paisaje

El desmonte que se ha realizado en la zona costera ha modificado el escenario natural con la sustitución de vegetación de duna costera por la edificación de condominios y villas turísticas, así como el establecimiento de algunos hoteles en la zona de Akumal, un exclusivo fraccionamiento en la Península de Yalkú, y otros desarrollos en varios sectores de las costas como en Akumal Caribe, Aventuras Akumal, y en Punta Tulsayab, Punta Cadena, Bahía Solimán y Tankah, al igual que la zona costera de la cabecera municipal.

Debido a que esta modificación al paisaje natural se ha realizado en no es significativa, y por lo tanto se trata de un impacto de intensidad baja (In=1). Por otra parte, el área de influencia del impacto, sólo abarcará la zona costera, por lo que se considera que la extensión es puntual (Ex=1).

Este impacto se manifestó a mediano plazo (Mo=4) durante un periodo de 20 años aproximadamente que empezó con el repunte de la actividad turística en la zona Norte de la entidad. Su efecto será permanente (Pe=4) ya que no se prevé su retorno a las condiciones naturales debido a que este espacio está ocupado por infraestructura turística. Por lo que el efecto que se ha causado al paisaje natural es irreversible (Rv=4).

La modificación del paisaje natural puede reconstruirse de manera parcial, con la aplicación de medidas de mitigación (Rc=4), con la conservación de la vegetación que no interfiera con el desplante de las obras, utilizando material de tipo rústico, y reforestando áreas carentes de vegetación, estas acciones de cierta manera pueden aminorar este impacto.

Se trata de un impacto indirecto (E=1) dado que se presenta como una consecuencia de afectación a la vegetación de la duna costera y el desarrollo de

viviendas y centros de hospedaje turístico; de sinergismo moderado ($S=2$), dado que está vinculado con la reducción y fragmentación de la cobertura vegetal y del hábitat para la fauna, que está ligado con afectaciones a especies silvestres, entre otros. También será acumulativo ($A=4$), dado que se suma a las áreas dentro del municipio que han sido alterados por otras actividades económicas.

Por otra parte, este impacto es periódico ($Pr=2$), dado que se realiza aun en predios que no han sido desarrollados.

El valor de importancia estimado para la modificación al paisaje natural es de -28, se trata de un impacto adverso moderado.

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 2 + 4 + 2]$$

- **Modificación de patrones demográficos**

Esta actividad es la principal propulsora de los cambios de los patrones de migración en ambos sentidos, con la llegada de personas provenientes de otros municipio, entidades e incluso de otros países. De igual manera se observa como un área de mejores oportunidades laborales para la juventud principalmente de los poblados rurales en la zona maya que abandonan sus localidades natales.

Debido a que el municipio presenta un crecimiento demográfico de los más altos registrados en el país con una tasa anual del 17% se califica a este impacto como de intensidad media ($In=2$) aunque de extensión puntual ($Ex=1$), pues la curva de crecimiento se presenta básicamente para la cabecera municipal.

La manifestación de este impacto se ha dado en un mediano plazo ($Mo=2$) a lo largo de los últimos 12 años. Su persistencia es permanente ($Pe=4$) pues debido al atractivo que resulta el lugar por su belleza escénica y las oportunidades laborales y de negocios que representa la actividad turística, las proyecciones del aumento de la tasa de crecimiento de la población local se mantiene en ascenso.

La reversibilidad de este impacto puede darse por medios naturales a mediano plazo ($Rv=2$), ya que el municipio y la entidad en general está expuesta al paso de huracanes de alguna manera representa un freno para el desarrollo de esta actividad, y se ha dado el caso que algunas personas o familias enteras regresan a sus lugares de origen por la falta de empleo o recursos económicos.

La recuperación de este impacto por medios humanos está dado por la aplicación de medidas de mitigación (Rc=4) con la utilización de mano de obra local para las actividades constructivas y operativas.

El efecto de este impacto es indirecto (E=1), pues los cambios drásticos de los patrones demográficos están dados por la atracción de los inmigrantes de mejores oportunidades de empleo y de calidad de vida.

La sinergia de este impacto (S=2) deriva del hecho que el aumento de la población demanda la satisfacción de viviendas dignas, de infraestructura y servicios públicos, entre otras cosas.

Este impacto es acumulativo (A=4) pues de acuerdo a datos oficiales la tendencia de crecimiento poblacional se incrementará en los próximos 20 años de una manera exponencial. Su manifestación es continua (Pr=4) pues se registra un crecimiento poblacional acelerado, de acuerdo a los datos del INEGI en su último censo del 2010.

El valor de importancia estimado para la modificación de patrones demográficos es de -31, se trata de un impacto adverso moderado.

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 4 + 2 + 4 + 1 + 2 + 4 + 4]$$

- Derrama económica local y regional

La principal actividad económica en el Estado de Quintana Roo es el turismo, ya que aporta casi el 50% al Producto Interno Bruto (PIB) estatal. Sin embargo, su economía no sólo se compone del sector turístico-comercial (hoteles, restaurantes y comercio), sino que también cuenta con la industria de transformación básica, aunque si bien es sabido que no es muy amplia y está poco desarrollada, también está entendido que es indispensable para brindar las condiciones y oportunidades de operación a este sector de gran actividad; la industria manufacturera representa poco menos del 3% del PIB estatal.

Este impacto es de naturaleza positiva y se califica como de intensidad alta (In=4) y extensión extrema (Ex=4), pues los beneficios económicos de esta actividad permean a nivel nacional con la generación de divisas para el gobierno federal.

Se trata de impacto que se ha manifestado a mediano plazo (Mo=2) como resultado de la expansión del éxito turístico de los municipios vecinos. La persistencia del efecto es permanente (Pe=4) debido a la vocación turística de la

zona costera, aunado al interés de los gobiernos federal y estatal por seguir apoyando el desarrollo de esta actividad en los próximos años.

Este impacto benéfico puede ser reversible a mediano plazo ($R_v=2$) por la afectación de la zona por fenómenos meteorológicos, que como se ha observado frenan la economía derivada de esta actividad por los daños que dejan a la infraestructura turística y presentan una incidencia aproximada de aparición de huracanes de gran escala cada 15 años aproximadamente.

La reconstrucción de los beneficios de este impacto se puede dar en un mediano plazo ($R_c=2$) dependiendo de la gravedad de los daños después de un huracán.

La manifestación de los beneficios de este impacto es continua ($P_r=4$) pues se registran el arribo de aproximado para el municipio de 1 707,607 visitantes al año, quienes visitan los sitios arqueológicos de Tulum y Cobá principalmente (INAH, 2008).

El valor de importancia estimado para la derrama económica es de +44, se trata de un impacto benéfico moderado.

$$I = \pm [3 (4) + 2 (4) + 2 + 4 + 2 + 2 + 4 + 2 + 4 + 4]$$

- Generación de empleos temporales y permanentes

Este impacto es de naturaleza positiva y está relacionado a la generación de empleos temporales casi siempre para la construcción de inmuebles turísticos y permanentes para la operación de esta actividad.

Debido a que el turismo que se desarrolla en el municipio no es tan importante en comparación con los grandes desarrollos comerciales que se construyen en la Zona Norte del estado, principalmente en las cabeceras municipales de Benito Juárez y Solidaridad, se considera un impacto de intensidad media ($I_n=1$), aunque de extensión parcial ($E_x=2$) considerando que el beneficio permea a otras entidades del país e incluso a un número reducido de extranjeros.

La manifestación de este impacto se ha dado a mediano plazo ($M_o=2$) durante la primera década del año 2000 a la fecha. La persistencia del efecto se puede calificar como permanente ($P_e=4$) considerando que no se ha reducido la actividad turística en la zona y se han construido nuevos desarrollos que siguen generando empleos para la población.

Al igual que los beneficios económicos, la generación de empleos puede ser reversible por causas naturales a mediano plazo ($R_v=2$) por los efectos nocivos de un huracán a la infraestructura turística. De igual manera la reconstrucción por medios humanos se puede dar a mediano plazo ($R_c=2$) dependiendo de la reactivación de la actividad.

El efecto será directo ($E=4$) ya que éste impacto se deriva del requerimiento de personal, para el funcionamiento de esta actividad, y se considera sinérgico ($S=2$) por que incidirá tanto en la economía local como en la mejora de calidad de vida las familias de los trabajadores de esta actividad.

Se califica a este impacto acumulativo ($A=4$) porque se suma a las microempresas que generan empleos en la localidad y contribuye al mantenimiento de la economía. Respecto a la periodicidad se califica como permanente ($Pr=4$) considerando que aunque surjan fuentes temporales durante la construcción, siempre se requerirá de mano de obra para la operación de esta actividad.

El valor de importancia estimado para la generación de empleos temporales y permanentes es de +34, se trata de un impacto benéfico moderado.

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 2 + 4 + 2 + 2 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

ACTIVIDAD INDUSTRIAL

Esta actividad se centra principalmente para la actividad minera, donde se detectaron tres impactos principales, todos de naturaleza negativa, de los cuales cuatro se calificaron como moderados; a continuación se describen a cada uno de ellos y se explica la razón del valor otorgado a cada tipología.

- Explotación de recursos naturales no renovables

Las únicas actividades mineras que se llevan a cabo en el municipio de Tulum son las de extracción de materiales pétreos, ya que es el material que se utiliza para la construcción, esta actividad extractiva se ha realizado de manera irregular, lo que ha provocado la apertura de bancos clandestinos.

Con base a las tendencias del desarrollo urbano en la ciudad de Tulum, se anticipa la necesidad de abrir nuevos bancos de material pétreo que provean los insumos necesarios a nivel local, sin tener que adquirirlos en los bancos ubicados fuera del Municipio y a distancia considerable, lo cual incrementa los costos de los mismos. Para ello es pertinente considerar la ubicación de los yacimientos continentales

(generalmente corresponden a paleocostas) existentes en el Municipio, donde sea factible su explotación, con ello, se evitará el desmonte de en zonas no aptas para la actividad extractiva y la proliferación de bancos clandestinos.

En la caracterización ambiental municipal se determinó la existencia de 52 polígonos de bancos de material en el municipio Tulum, que suman una superficie conjunta de 162 hectáreas ubicados de manera paralela a la Carretera Federal 307, Reforma Agraria Puerto Juárez. Considerando que existe una reserva considerable para explotación pero se trata de un recurso no renovable se califica como un impacto de intensidad media (In=2) y de extensión parcial (Ex=2) por la ubicación de los bancos clandestinos y por la ubicación de los yacimientos en las paleocostas paralelas a la Carretera Federal 307.

El momento de manifestación de este impacto se ha dado a mediano plazo (Mo=2) de acuerdo a las necesidades que registra el sector constructivo. Mientras que la persistencia de su efecto es permanente (Pe=4) pues al extraer el material pétreo no existe la posibilidad de regresar a sus condiciones originales al subsuelo, ya su formación provienen de procesos geológicos a lo largo de un periodo de millones de años. Por esta misma razón se trata de un recurso irrecuperable (Rv=8).

Existe la posibilidad de establecer medidas de mitigación (Rc=4) para el aprovechamiento extractivo del material pétreo, enfocadas más que nada a su explotación racional y regulada.

El efecto de este impacto en el suelo y subsuelo derivado de esta actividad esta directamente relacionado (E=4) pues es la fuente de abasto para la minería. Se trata de impacto sinérgico (S=2) pues muchas veces al extraer el material pétreo se llega al nivel freático o a escasos metros de él, lo que origina un riesgo latente de contaminación por grasas y aceites provenientes de la maquinaria que se utiliza para estas labores.

Se trata de un impacto acumulativo (A=4) pues las áreas de explotación se incrementarán progresivamente para atender las necesidades de abasto del sector constructivo. Puede calificarse como periódico (Pr=2) considerando que aunque se requiera de abasto constante de material pétreo para la construcción, no se realiza la apertura frecuente de bancos de extracción.

El valor de importancia estimado para la Explotación de recursos naturales no renovables es de -40, se trata de un impacto adverso moderado.

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 2 + 4 + 4 + 8 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

- **Afectación al acuífero por riesgos de contaminación**

Se trata de un impacto residual que puede darse por la extracción del subsuelo dejando expuesto al manto freático o a escasos metros, haciendo latente el riesgo de contaminación por grasas y aceites de la maquinaria que se utilice en esta actividad minera.

Considerando la importancia del acuífero como única fuente de suministro de agua potable, como atractivo turístico y como el hábitat de especies con importancia ecológica y legal, se califica como un impacto de intensidad alta ($In=4$) y que puede alcanzar una extensión parcial ($Ex=2$) debido a la capacidad del agua para transportar todo tipo de sustancias disueltas incluyendo las contaminantes.

El momento de manifestación de este impacto puede ser a mediano plazo ($Mo=2$) si no se toman medidas estrictas para no llegar a exponer el manto freático y se mantienen en buenas condiciones la maquinaria utilizada en las labores de extracción.

La persistencia de este riesgo puede ser temporal ($Pe=2$) considerando que la contaminación se puede retrasar por medios físicos y químicos derivados de la hidrodinámica que pueden atenuar, retardar e incluso eliminar su afectación a este medio. En este mismo sentido se considera que puede ser reversible de manera natural a un mediano plazo ($Rv=2$).

Se pueden aplicar medidas de mitigación ($Rc=4$) que permitan determinar el grosor de la capa del subsuelo que puede explotarse en áreas determinadas, basadas en estudios preliminares de mecánica de suelo.

Se trata de un impacto de efecto indirecto ($E=1$) pues el riesgo se origina como consecuencia de una mala planeación de la explotación minera o en su caso de la apertura clandestina de bancos de material.

Es un impacto sinérgico ($S=2$) pues la contaminación puede afectar a la salud humana y a las poblaciones de fauna que habitan los sistemas subterráneos inundados. Puede calificarse como un impacto acumulativo ($A=4$) que se suma a riesgos de contaminación al acuífero por actividades económicas diferentes y al desarrollo urbano.

Se puede calificar como un impacto periódicos ($Pr=2$) pues su manifestación puede permanecer latente durante la etapa productiva de uno o más bancos de material pétreo en el municipio.

El valor de importancia estimado para afectación al acuífero por riesgos de contaminación es de -35, se trata de un impacto adverso moderado.

$$I = \pm [3 (4) + 2 (2) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 2 + 4 + 2]$$

○ Derrama económica y generación de empleos

La importancia de la derrama económica de esta actividad se basa en que se trata de la segunda actividad de importancia para el municipio después de la turística y cubre la necesidad de abastecer al sector constructivo de materiales pétreos. Aunque la generación de empleo por esta actividad no es significativa, sus beneficios se suman en este rubro.

Se califica como un impacto positivo de intensidad baja ($I_n=1$) considerando que no se realiza una explotación continua en el municipio, y su extensión es puntual ($E_x=1$) pues los beneficios prácticamente repercuten en el ámbito municipal y escasamente a la entidad por el pago de permisos para la explotación pétreo.

La manifestación de este impacto puede ser a mediano plazo ($M_o=2$) pues los beneficios económicos y de empleo se dan durante la etapa operativa de los bancos de material pétreo, que está sujeta a la obtención de permisos, cuyos plazos pueden llegar a exceder un año, desde el inicio de los primeros trámites hasta su autorización.

La permanencia del efecto es temporal ($P_e=2$), pues la etapa de explotación de un banco de material pétreo depende de la superficie autorizada para explotación y del grosor del yacimiento, lo cual se puede estimar en un tiempo de 3 hasta 10 años.

Una vez que un banco agota las reservas de material para su explotación, se abandona y los beneficios económicos que trajera su operación se pueden revertir a mediano plazo ($R_v=2$). Mientras que los beneficios económicos vuelven a surgir por la apertura de otro banco de extracción ($R_c=4$).

El efecto de este beneficio se relaciona de manera directa a la actividad minera ($E=4$), pues deriva de la necesidad de personal capacitado para estos trabajos y de la comercialización del producto. Se considera un impacto sinérgico ($S=2$) por que incidirá tanto en la economía local como en la mejora de calidad de vida las familias de los trabajadores de esta actividad.

Se trata de un impacto acumulativo a las demás actividades económicas que se realizan en el municipio ($A=4$) reactivando la economía y creando fuentes de

empleo. Se califica como un impacto periódico ($Pr=2$) pues no es muy frecuente su realización en el municipio.

El valor de importancia estimado para Derrama económica y generación de empleos por la actividad minera es de -25, se trata de un impacto adverso moderado.

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 2 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

ACTIVIDAD FORESTAL

Dentro de esta actividad se identificaron tres impactos, mismos que se describen a continuación:

- Explotación irregular de los recursos

Aprovechar de manera irregular los recursos forestales del municipio resulta un impacto negativo debido a que afecta la vegetación de Selva Mediana Subperennifolia. Sin embargo, si partimos del contexto municipal, es posible calificar la intensidad de este impacto como baja ($In=1$), considerando además que la vegetación de selva se ha recuperado como resultado de una tendencia de disminución de la actividad agrícola en los últimos 15 años. El impacto se calificó como un impacto de extensión puntual ($Ex=1$), pues de acuerdo a los resultados de la caracterización ambiental municipal, esta actividad se limita a los sitios de donde se extrae principalmente palizada, huamiles y acahuales, los primeros se consideran terrenos agrícolas abandonados en recuperación y los segundos terrenos forestales incipientes. Otras especies que se utilizan son los bejucos, para artesanías y leña, como combustible. En todos los casos, los fines de dicha explotación son para autoconsumo, principalmente. Sin embargo, para una posible comercialización del recurso, las tallas de los individuos tendrían diámetros de los 5 a los 15 centímetros, y largos desde uno hasta 4 metros, según indica la caracterización del Municipio de Tulum.

El plazo de manifestación de la explotación de estos recursos da a mediano plazo, conforme a las necesidades de los ejidatarios ($Mo= 2$) y su persistencia es temporal ($Pe=2$) pues la duración del efecto puede ser menor a los cinco años para muchas especies utilizadas con fines forestales de palizada, siempre y cuando se abandone la actividad, y puede retornar a sus condiciones anteriores por medios naturales al permitir el crecimiento y desarrollo de los individuos jóvenes existentes en la Selva ($Rv=2$).

El impacto para esta actividad se califica como mitigable ($R_c=4$), debido a que es posible la capacitación para aquellos ejidatarios propietarios de áreas potencialmente aprovechables con fines forestales, así como promover la regularización de dicho tipo de aprovechamiento.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) pues incide directamente sobre los individuos de especies forestales con tallas de interés comercial, en el caso de aquellos que son extraídos ilegalmente, así como de la vegetación que se desarrolla actualmente en la selva y tiene algún uso, como palizada, leña o materia prima para elaboración de artesanías. Además se trata de un impacto sinérgico ($S=2$), pues involucra afectaciones a la fauna silvestre con la eliminación de árboles adultos que proveen espacios potenciales de ocupación; para perchar, anidar o sólo descansar, así como por el consumo de sus frutos u hojas. También incide en la modificación del paisaje. Su incremento es acumulativo respecto a la reducción de individuos adultos o de especies con potencial de aprovechamiento ($A=4$).

Este impacto ocurre de manera irregular o discontinua ($Pr=1$) debido a que no es una práctica recurrente, considerando que las especies de tallas de interés se utilizan principalmente para los cercados, exteriores de casas, o materia prima para autoconsumo. Este impacto resultó con un valor de importancia de -26, pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 2 + 4 + 1]$$

○ Afectación a las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

En base al estudio de caracterización ambiental del municipio se reportaron 63 especies de fauna catalogadas con algún estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. De estas especies, las que resultarían afectadas son aquellas consideradas como especies continentales, por permanecer la mayor parte de su vida al interior y límites del continente. Después, aquellas que estén vinculadas a especies de interés forestal, ya sea por alimentarse de sus hojas o frutos, utilizarlos para anidación, perchas, dormitorios, para protección o para descanso. Estos hábitos reducen el número de especies con estatus que podrían ser afectadas, ya que excluye a las especies marinas o costeras.

Para la vegetación se reportan 11 especies de flora con protección legal, de las cuales por su distribución en la Selva Mediana y las derivadas de esta misma, las que podrían resultar afectadas por aprovechamiento forestal, serían aquellas que se utilicen con fines comerciales, palizada, carbón o materia prima para artesanías. Por lo anterior, solo la palma chit (*Thrinax radiata*), con estatus de amenazada, se

vería afectada con la actividad forestal debido a que su tronco es utilizado para el acabado de hoteles y restaurantes, también sus hojas se usan para el techado de las casas mayas tradicionales o de palapas turísticas, así como para la fabricación de escobas y sombreros.

Pese a que la palma chit está catalogada con estatus de amenazada, el impacto fue calificado con intensidad baja ($In=1$) debido a que el efecto incide únicamente en dicha especie, la cual tiene la ventaja de contar con un amplio rango de distribución en el Municipio, el Estado, e incluso rebasa sus límites. Además se trata de una especie abundante en la Selva y sus diferentes condiciones, donde se observa abundante regeneración en el sotobosque, a partir de individuos adultos.

La extensión de este impacto se califica como puntual ($Ex=2$) pues su uso está limitado a la zonas rurales y en función de las necesidades locales, cerca de pequeños asentamientos. Esto debido a que el traslado de la extracción ilegal de esta especie, además de recursos económicos involucra el riesgo de multas y/o decomisos. La manifestación del impacto a las especies con protección legal se da en un mediano plazo, tanto para la vegetación como para la fauna, debido a que se realiza según las necesidades locales ($Mo=2$).

La persistencia del efecto es temporal ($Pe=2$), considerando que la vegetación tiene la capacidad de regenerarse una vez que se abandona el lugar. La reversibilidad para la regeneración de la selva y la repoblación por parte de la fauna puede darse a un mediano plazo ($Rv=2$).

Ante la posibilidad de realizar acciones concretas y programadas para evitar este impacto, se calificó como mitigable ($Rc=4$). Las medidas estarán basadas en la información y difusión de las especies con algún estatus de protección legal reportadas para la zona, flora o fauna, debido a que los pobladores de las zonas rurales manifestaron desconocer su condición durante los talleres o directamente a través de las encuestas aplicadas.

El efecto de este impacto sobre este elemento del medio, especies con potencial forestal, se considera directo, pues la actividad se enfoca en el uso de tales especies ($E=4$). Se trata de un impacto de sinergia simple ($S=1$) pues no se derivan impactos adicionales por esta causa.

Se califica como acumulativo simple ($A=1$) pues la afectación a especies con protección legal con potencial de uso forestal, es muy reducida. Además se debe considerar la regeneración natural que puede compensar el efecto de este impacto.

La periodicidad del impacto se puede calificar como irregular o discontinua (Pr=1) por el hecho de que se trata de especies específicas que podrían o no estar presentes en las áreas afectadas.

Este impacto resultó adverso, con un valor de importancia de -22, sin embargo, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 1 + 1 + 1]$$

○ Conflictos social por el uso de recursos naturales

El impacto que pudiera generar conflictos sociales por actividades forestales es de baja intensidad (In=1), debido principalmente a que no constituye una actividad organizada con intereses claros en áreas específicas, el aprovechamiento actual se refiere más bien a la extracción clandestina y fortuita, ya que ninguna comunidad cuenta con un programa de manejo que regule la extracción con la capacidad de regeneración de los rodales. El riesgo del conflicto surge cuando la extracción ilegal se realiza en predios o ejidos ajenos. En ejidos como el Tulum, Macario Gómez y Francisco Uh May se cuenta con una extensión vegetal con alto potencial de aprovechamiento, por lo que podría asumirse como subutilizada para fines forestales. En la comunidad de Jacinto Pat se conserva una superficie de 700 ha bajo el esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos, lo cual representa otra alternativa para la obtención ingresos.

La extensión del impacto se calificó como puntual (Ex=1), pues esta actividad se limita a los sitios donde existe el recurso forestal y por ser principalmente clandestina, es de baja magnitud y orientada al autoconsumo.

El plazo de manifestación de la explotación de estos recursos se da a mediano plazo, conforme a las necesidades puntuales de quienes realizan la actividad y de no percatarse los propietarios del área afectada, el conflicto se reduciría (Mo= 2). Su persistencia es temporal (Pe=2) pues el conflicto generado por la extracción ilegal a la parte afectada se vería atenuado por la capacidad de regeneración de especies forestales o permitir el desarrollo de individuos jóvenes existentes en la selva, siempre y cuando se asegure evite la re incidencia de tales actos clandestino, ya que puede retornar a sus condiciones anteriores por medios naturales (Rv=2). El impacto para esta actividad se califica como mitigable (Rc=4), debido a que es posible promover programas gubernamentales o privados de apoyo a las comunidades asentadas en ejidos con alto potencial forestal, para propiciar una actividad productiva debidamente regulada y ordenada que asegure su aprovechamiento sustentable.

Se considera un impacto de efecto directo (E=4) pues incide sobre la Selva que presenten altos volúmenes de individuos de especies forestales con diámetros de interés comercial. Así, el conflicto social surge a partir del interés de utilizar tales recursos. Se trata de un impacto sinérgico (S=2), pues involucra interés social de otros sectores, como el de turismo alternativo y para conservación. Su incremento es acumulativo debido a que los posibles conflictos sociales se incrementarían por la demanda de especies forestales con tallas de interés comercial ante la reducción de individuos adultos con tales características o de especies con potencial de aprovechamiento (A=4).

Este impacto ocurre de manera irregular o discontinua (Pr=1) debido a su carácter clandestino, además no se considera recurrente debido a que se requieren insumos económicos para trasladar el producto para su comercialización, lo cual limita severamente la frecuencia de tal actividad. Este impacto resultó con un valor de importancia de -26, pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se observa en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 2 + 4 + 1]$$

ASENTAMIENTOS HUMANOS

Dentro de esta actividad se identificaron ocho impactos, mismos que se describen a continuación:

- Reducción de cobertura vegetal

En base a la caracterización del Municipio de Tulum se tiene que la pérdida de su cobertura vegetal es reducida, y los principales cambios en este componente ambiental se deben a actividades diferentes a los asentamientos humanos (principalmente es por fines agrícolas). Por tal razón, el impacto se califica con intensidad baja (In=1), considerando además que la vegetación de selva se ha recuperado por la reducción de dicha actividad agrícola en los últimos 15 años.

El impacto se califico como un impacto de extensión parcial (Ex=2), pues se anticipa el crecimiento urbano de Tulum, Akumal y Chemuyil, así como la expansión de la localidades rurales de Macario Gómez, Manuel Antonio May, Francisco Un May, y Coba.

El plazo de manifestación de reducción de cobertura vegetal a favor de la ampliación de asentamientos humanos se daría a corto plazo (Mo=4) considerando los datos de crecimiento poblacional por localidad obtenidos del conteo de

población del INEGI 1995 y 2005 y a los Censos Generales de Población y Vivienda, 1990, 2000 y 2010.

La reducción de la cobertura vegetal para este caso se considera irreversible ($R_v=4$), por ende, también se considera permanente ($P_e=4$). Sin embargo se trata de un impacto mitigable ($R_c=4$), debido a que es posible la implementación de programas de rescate, reforestación y arborización de zonas urbanas, establecimiento de áreas públicas jardinadas con vegetación nativa, entre otras medidas enfocadas a compensar el efecto de la reducción de la cobertura vegetal.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) pues incide directamente sobre la superficie ocupada por vegetación y su reducción será inminente para los fines urbanos previstos. Sin embargo, se califica como un impacto sinérgico ($S=2$), pues desencadenará otros efectos, aunque limitados a las áreas abiertas para albergar a los asentamientos humanos. Su incremento es acumulativo debido a que las áreas destinadas a los asentamiento humanos se adicionan a las ocupadas actualmente con tales fines ($A=4$).

Este impacto ocurrirá de manera periódica ($P_r=2$) conforme a las demandas de la creciente población de las localidades, ya sean urbanas o rurales.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -35, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (2) + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

○ Afectación a las especies de fauna silvestre

Actualmente, tanto en localidades rurales como en la cercanía de localidades urbanas se practica la caza y captura de fauna silvestre. Según la información proporcionada por los propios lugareños, en el primer caso se practica con fines de autoconsumo y en el segundo caso, la fauna cautiva tiene fines ornamentales o para crianza con fines comestibles. Debido a que los pobladores rurales tienen la costumbre de cazar las especies silvestres para autoconsumo familiar; no se trata de una actividad intensiva, más bien es esporádica, con periodicidad bimestral, en casos frecuentes. Por tal razón, el impacto se califica con intensidad baja ($I_n=1$).

El impacto se calificó como un impacto de extensión parcial ($E_x=2$), pues la caza se realiza cerca de los asentamientos humanos pero se introducen a la selva cercana, y de manera dispersa para realizar la actividad.

El plazo en que se manifieste el efecto sobre la fauna se calificó como mediano ($Mo=2$) considerando que dicha actividad se realiza de manera poco frecuente y conforme a la demanda de consumo en ciertas condiciones de desabasto de otros productos o por carencia de recursos económicos para obtener alimentos con proteínas de origen animal para la dieta.

La persistencia del efecto es temporal ($Pe=2$) y reversible a mediano plazo ($Rv=2$), debido a que la fauna silvestre constituye un recurso renovable. Es posible mitigar este impacto ($Rc=4$) al promover el aprovechamiento sustentable de la fauna silvestre a través del establecimiento de Unidades de Manejo Ambiental (UMA's), principalmente para las especies más apreciadas por la población para fines comestibles como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), la paca (*Cuniculus paca*) y el tzereque (*Dasyprocta punctata*) entre otros.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) pues incide directamente sobre los individuos silvestres capturados o cazados. Sin embargo, se califica como un impacto sinérgico simple ($S=1$), pues no involucra efectos adicionales por tratarse de especies comunes, con amplio rango de distribución y con altas posibilidades de reproducción. Su incremento es acumulativo debido a que al incrementarse las áreas ocupadas destinadas a los asentamiento humanos se incorporan nuevos cazadores, principalmente en localidades rurales ($A=4$).

Este impacto ocurrirá de manera irregular ($Pr=1$) conforme a las necesidades puntuales y esporádicas de los habitantes de zonas rurales.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -27, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (2) + 2 + 2 + 2 + 4 + 4 + 1 + 4 + 1]$$

- Afectación a especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

La caza con fines de autoconsumo es una práctica común en las localidades rurales o pequeños asentamientos humanos; entre las especies con interés comestible se encuentran algunos que tienen algún estatus de protección en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como el Hoco faisán (*Crax rubra*), especie amenazada según la Norma referida, así como el pato real (*Cairina moschata*), catalogada como especie en peligro de extinción, o el pavo ocelado (*Meleagris ocellata*), por

mencionar algunos. Por el estatus legal de las especies utilizadas con fines comestibles, u ornamentales en algunos casos, el impacto se califica con intensidad media (In=2), con extensión parcial (Ex=2), debido a que la caza se realiza cerca de los asentamientos humanos pero se introducen a la selva cercana, y de manera dispersa para su búsqueda.

El plazo en que se manifieste el efecto sobre estas especies de fauna se calificó como mediano (Mo=2), considerando que dicha actividad no es básica, más bien es esporádica.

La persistencia del efecto es temporal (Pe=2) y reversible a mediano plazo (Rv=2), debido a que esta fauna, pese a su estatus, es un recurso renovable. Es posible mitigar este impacto (Rc=4) al promover el aprovechamiento mediante el esquema de Unidades de Manejo Ambiental (UMA´s), enfocada a las especies más utilizadas con fines comestibles.

Se considera un impacto de efecto indirecto (E=1) pues incide en la fauna silvestre y entre ésta aquellos individuos con status, sin que éstos sean el foco de atención principal. Sin embargo, se califica como un impacto sinérgico simple (S=1), pues no involucra efectos adicionales. Su incremento es acumulativo debido a que al incrementarse las áreas ocupadas destinadas a los asentamiento humanos se incorporan nuevos cazadores que capturarán tales especies, principalmente en localidades rurales (A=4).

Este impacto ocurrirá de manera irregular (Pr=1) conforme a las necesidades puntuales y esporádicas de los habitantes de zonas rurales.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -27, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (2) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 4 + 1]$$

- Incremento de la presión sobre la infraestructura existente

La ampliación de la los asentamientos humanos, urbanos o rurales, conlleva el aumento de la demanda de servicios y, en su ausencia o durante el proceso para abastecer servicios básicos, se anticipa que exista presión sobre la infraestructura existente. Por tal razón, el impacto se califica con intensidad media (In=2), pero con extensión puntual (Ex=2), debido a que limita al área de los asentamientos humanos ya existentes.

El plazo en que se manifieste el efecto sobre estas especies de fauna se calificó como mediano ($Mo=2$), debido a que el incremento poblacional es gradual. Sin su efecto será permanente ($Pe=4$) e irreversible ($Rv=4$). Es posible mitigar este impacto ($Rc=4$), mediante la promoción del uso de tecnologías alternativas.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) debido a que incidirá directamente en las áreas ocupadas por asentamientos humanos, y será sinérgico ($S=2$), ya que involucra efectos derivados de las actividades propias de los asentamientos humanos. Su incremento es acumulativo debido a que la demanda futura se sumará a la demanda actual de infraestructura de servicios básicos ($A=4$).

Este impacto ocurrirá de manera periódica ($Pr=2$) lo cual se anticipa por el incremento gradual de la población y por ende, la presión sobre la infraestructura en tanto se cubran las necesidades de dichos servicios.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -34 , y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 + 4 + 2]$$

- **Afectación al suelo y subsuelo**

La afectación al suelo y subsuelo a causa del establecimiento de asentamientos humanos se consideró con intensidad baja ($In=1$), debido a que pese a que involucra su ocupación actual para fines urbanos, así como el posible riesgo de afectación del subsuelo por la contaminación que podría provocar tales asentamientos, el efecto se limita a las cercanías de localidades actualmente ocupadas para los fines previstos. Por ello, también se calificó con extensión puntual ($Ex=1$).

El plazo de manifestación del efecto, tanto por ocupación del suelo como por el riesgo de contaminación por asentamientos humanos se daría a mediano plazo ($Mo=2$). El uso del suelo para tales fines se considera irreversible ($Rv=4$), por ende, también se considera permanente ($Pe=4$). Sin embargo se trata de un impacto mitigable ($Rc=4$), debido a que es posible la implementación de programas tendientes a la recuperación del suelo y preventivos, respecto a los riesgos de contaminación del subsuelo.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) pues incide directamente sobre el suelo, e indirectamente en el subsuelo. Sin embargo, con sinergia simple ($S=1$)

debido a que no se generaran efectos adicionales a los que se presentan actualmente en las zonas con asentamientos humanos. Su incremento es acumulativo debido a que las áreas destinadas a los asentamiento humanos se adicionan a las ocupadas actualmente con tales fines (A=4).

Este impacto ocurrirá de manera periódica (Pr=2) conforme a las demandas de la creciente población de las localidades, ya sean urbanas o rurales.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -30, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (1) + 2 (1) + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 1 + 4 + 2]$$

- Afectación al acuífero por riesgo de contaminación

Debido a la alta permeabilidad del karst que predomina en el territorio Municipal de Tulum, los posibles riesgos de impactos sobre el acuífero vía contaminación por asentamientos humanos se considera con intensidad alta (In=4), pero con extensión parcial (Ex=2) debido a que los sitios ocupados por tales asentamientos son localizados.

La manifestación de posibles efectos de contaminación en el acuífero se anticipan a mediano plazo (Mo=2) debido a que estará vinculado al incremento de la población, misma que será gradual y sólo en tanto se cubren las necesidades de infraestructura de drenaje que eviten el riesgo, por lo que se considera con persistencia temporal (Pe=2), por ende, también se califica como reversible a mediano plazo (Rv=2) y mitigable (Rc=4), debido a que es posible la implementación de tecnologías alternativas que reduzcan o eviten totalmente el riesgo de contaminación.

El impacto tendrá un efecto indirecto (E=1) debido a que, para alcanzar el acuífero se requiere de pasar previamente por el suelo, subsuelo o geoformas kársticas típicas de la zona, como cenotes u ollas. Se considera un impacto muy sinérgico (S=1) debido a que la posible contaminación del acuífero desencadena efectos sobre otros componente como la fauna endémica propia de estos sistemas, la distribución de contaminantes a lo largo del recorrido de ríos subterráneos y con ello, ampliación de áreas afectadas, por nombrar algunos ejemplos. Su efectos sería acumulativo, al sumarse a los posibles eventos contaminantes que se presenten actualmente (A=4).

Este impacto ocurrirá de manera periódica (Pr=2) conforme se ocupen las áreas destinadas a los asentamientos humanos y mientras no sean cubiertas los servicios de drenaje, o abasto de agua, ya sea en localidades urbanas o rurales.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -37, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (4) + 2 (2) + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 4 + 4+2]$$

○ **Riesgo de asentamientos humanos irregulares**

Los asentamientos humanos irregulares conllevan riesgos importantes de contaminación al suelo, subsuelo, acuífero, reducción de cobertura vegetal, afectación a la fauna, silvestre y con estatus de protección, deterioro del paisaje, baja calidad de vida y seguridad, entre otros. Sin embargo, al ser espacialmente identificables se calificó como un impacto de intensidad media (In=2) y con extensión puntual (Ex=1).

La manifestación de los posibles efectos se anticipan a mediano plazo (Mo=2) debido a que su establecimiento y posterior crecimiento sería gradual. Sin embargo, sería un impacto permanente (Pe=4), por ende, también se califica como irreversible (Rv=4) y mitigable (Rc=4), debido a que es posible la implementación de estrictas medidas restrictivas que eviten totalmente el riesgo de contaminación.

El impacto tendrá un efecto indirecto (E=1) debido a que incidirá en el mismo sitio de ocupación por tales asentamientos y tendrá efecto sinérgico (S=2) y sus efectos sería acumulativos, al sumarse a los posibles eventos contaminantes que se presenten actualmente (A=4).

El efecto de este impacto se anticipa como periódica (Pr=2), ya que una vez establecidos, las zonas ocupadas tenderán a incrementarse.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -34, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (1) + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4 + 4+4]$$

○ **Disposición inadecuada de residuos sólidos**

La falta de rellenos sanitarios construidos como tal, otorgan una intensidad alta al problema de generación de residuos (In=4), que además tienen efectos parciales (Ex=2) debido a que se manifiestan más allá del sitio de generación.

Tales efectos se prevén a mediano plazo (Mo=2), pero de manera permanente (Pe=4), por ende, también se califica como irreversible (Rv=4). Sin embargo, se trata de un impacto mitigable (Rc=4) mediante el fortalecimiento de los programas municipales enfocados a la reducción, re uso y reciclaje de residuos.

El impacto tendrá un efecto directo (E=4) debido a que se generará directamente por los habitantes de los asentamientos y tendrá efecto sinérgico (S=2) con efectos acumulativos, al sumarse a la generación actual de residuos que no se dispone en rellenos sanitarios (A=4).

El efecto de este impacto se anticipa como periódico (Pr=2), ya que la generación de residuos se presentará así.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -42, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (4) + 2 (2) + 2 + 4 + 4 + 4 + 4 + 2 + 4+2]$$

IMPACTOS NATURALES

Dentro de esta actividad se identificaron cuatro impactos, mismos que se describen a continuación:

- Cambios en la estructura y composición de la vegetación

Independientemente del origen de los cambios en la estructura y composición de la vegetación, este impacto se considera con intensidad alta (In=4) debido a los múltiples servicios ambientales que brinda la vegetación.

El impacto se calificó como un impacto de extensión extrema (Ex=4) debido a tales condiciones de afectación se presentan en distintos puntos del territorio municipal. Además se trata de un impacto cuya manifestación se a corto plazo (Mo=4). Sin embargo, con periodicidad temporal (Pe=2) debido a la capacidad de regeneración de la cobertura vegetal y su propiedad de resiliencia. Por esta misma característica se considera un impacto reversible a mediano plazo (Rv=2) y también se considera recuperable (Rc=2) al mismo plazo.

Se considera un impacto de efecto directo (E=4) pues incide directamente sobre la superficie ocupada por vegetación Sin embargo, se califica como un impacto sinérgico (S=2), pues tales modificaciones desencadena otros efectos, aunque limitados a las áreas afectadas. Se considera un impacto acumulativo simple (A=1) debido a la capacidad de recuperación de la vegetación una vez que se abandona la práctica impactante.

Este impacto ocurrirá de irregular (Pr=1) derivado de acciones eventuales, por causas climáticas o aisladas si son de origen antropogénico.

Este impacto resultó con un valor de importancia de -38, y pese a que es adverso, se trata de un impacto ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (4) + 2 (4) + 4 + 2 + 2 + 2 + 4 + 2 + 1 + 1]$$

o Afectación al hábitat de fauna silvestre

Un componente natural que se ve afectado con los cambios en la estructura y composición de la vegetación, se refiere a la fauna silvestre, principalmente por efecto en su hábitat. Debido a las afectaciones pueden ser aisladas y existir otras áreas con condiciones idóneas para su ocupación, se calificó este impacto con intensidad media (In=2), pero con extensión extrema (Ex=4) debido a que tales condiciones se encuentran en distintos puntos del Municipio. Además se trata de un impacto cuya manifestación será a corto plazo (Mo=4), ya que al modificarse las condiciones ambientales, la fauna será sensible a tales cambios. Sin embargo, el impacto se anticipa como temporal (Pe=2) debido a la capacidad de regeneración de los sistemas ambientales y su resiliencia. Por esta misma característica se considera un impacto reversible a mediano plazo (Rv=2) y también se considera recuperable (Rc=2) en el mismo plazo.

Se considera un impacto de efecto directo (E=4) pues incide directamente sobre la fauna silvestre. Sin embargo, se califica con sinergia simple (S=1), pues la fauna silvestre cuenta con atributos naturales que permiten su desplazamiento o adaptación. Se considera un impacto acumulativo simple (A=1) y con periodicidad irregular (Pr=1).

Este impacto adverso resultó con un valor de importancia de -31 por lo que se considera ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (2) + 2 (4) + 4 + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 1 + 1]$$

○ **Afectación a la economía local**

Considerando los eventos naturales climáticos, tales como huracanes, como los responsables de los impactos naturales más significativos, se consideró la afectación a la economía local, por tales causas, como un impacto de intensidad muy alta ($I_n=8$) y con extensión extrema ($E_x=4$). Los efectos de tales eventos, poco frecuentes pero catastróficos, se presentan en el mismo momento de ocurrencia ($M_o=4$). Sin embargo, la permanencia de tales efectos son temporales ($P_e=2$) y debido a la capacidad de regeneración de los sistemas ambientales y su resiliencia se trata de un impacto reversible a mediano plazo ($R_v=2$) y también se considera recuperable ($R_c=2$) en el mismo plazo.

Se considera un impacto de efecto indirecto ($E=1$) ya que incide en los recursos naturales cuya belleza sustenta la principal actividad económica del Municipio. Sin embargo, se califica como sinérgico ($S=2$) debido a que la incidencia y magnitud de eventos climáticos, desencadena efectos diversos. Se considera un impacto acumulativo simple ($A=1$) y con periodicidad irregular ($P_r=1$).

Este impacto adverso resultó con un valor de importancia de -47 por lo que se considera ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (8) + 2 (4) + 4 + 2 + 2 + 2 + 1 + 2 + 1 + 1]$$

○ **Riesgos para la población**

El riesgo de más relevancia para la población se refiere a la incidencia de Huracanes, y las inundaciones que la acompañan, así como riesgos de accidentes, desabasto. Incluso favorece actividades ilícitas como el robo. Por tal razón, los riesgos para la población se consideran impactos con intensidad muy alta ($I_n=8$) y con extensión extrema ($E_x=4$). Los efectos catastróficos se dejan sentir en el mismo momento de ocurrencia ($M_o=4$). Sin embargo, su permanencia es fugaz ($P_e=1$), por ende reversible a corto plazo ($R_v=1$) y mitigable ($R_c=4$) debido a que ya existe una cultura ante estos eventos y la debida atención y seguimiento de instrucciones por parte de protección civil, ha evitado defunciones por tales causas.

Se considera un impacto de efecto directo ($E=4$) ya que incide directamente sobre la población y se considera sinérgico ($S=2$) debido a que la incidencia y magnitud de eventos climáticos, desencadena efectos variados. Se trata de un impacto acumulativo simple ($A=1$) y con periodicidad irregular ($P_r=1$).

Este impacto adverso resultó con un valor de importancia de -50 por lo que se considera ambiental moderado, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3 (8) + 2 (4) + 4 + 1 + 1 + 4 + 4 + 2 + 1 + 1]$$

CONSIDERACIONES DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

De manera global se identificaron 15 impactos ambientales dentro del municipio, de los cuales dos son de naturaleza positiva y 13 negativos, los valores para los impactos positivos varían dependiendo de la actividad de la que se generen, la turística es la que alcanza los valores más altos con +44 para la Derrama económica y +34 para la generación de empleos.

Los valores más altos para los impactos negativos fueron de -50 en Riesgos para la población por impactos naturales, entre los que destacan la presencia de huracanes en la zona; seguida de Afectación a la economía local por estos mismos impactos con un valor de -47; destaca también la disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales para los Asentamientos humanos con un valor de -42, esto por la falta de infraestructura adecuada para su disposición final. En este mismo sentido para la presión sobre la infraestructura existente para la Actividad turística se califica al impacto con un valor de -38.

Otros impactos negativos son la Afectación al suelo y subsuelo por la extracción de materiales pétreos en la Actividad Industrial con valor de -40, los cambios en la estructura y composición de la vegetación con valor de -38 y la afectación al Acuífero por actividades turísticas con valor de -37.

Hay impactos negativos que son recurrentes en las distintas actividades económicas, tal es caso de la Reducción de la cobertura vegetal, afectación a la fauna silvestre, a especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, y riesgos de contaminación al suelo, subsuelo y acuífero. Sus valores son variables dependiendo de la actividad de la que deriven y del sitio espacial que afecten, tal es el caso del mismo impacto como la reducción de la cobertura vegetal presenta valores distintos para la actividad agrícola con -29, para la Actividad turística de -32 y para Asentamientos Humanos de -35. Lo mismo sucede para la fauna, especies con protección legal y riesgos de contaminación.

La tipología de intensidad de los impactos detectados derivados de las actividades económicas se calificó de baja a media en su mayoría, los impactos que recibieron un valor más alto en cuanto a intensidad son la afectación al acuífero por riesgos de contaminación por la Actividad Turística, Actividad Industrial y Asentamientos Humanos. Ahora bien la intensidad para los Impactos Naturales respecto a la afectación a la economía y riesgos a la población se les otorgo un valor de -8 considerando que se refiere a las consecuencias del paso de huracanes por el municipio.

En referencia a la extensión la mayoría de los impactos son puntuales o parciales, debido a que su área de influencia es muy localizada en puntos específicos del municipio. No así para los impactos derivados de los huracanes, que se calificaron como de extensiones extremas, considerando el radio de kilómetros que presentan estos fenómenos meteorológicos.

El momento de manifestación de los impactos identificados en su mayoría fue a mediano plazo, sólo algunos en la Actividad agrícola y presencia de huracanes en Impactos naturales se manifiestan de manera inmediata.

En cuanto a la persistencia del efecto de estos impactos, sólo el riesgo de Afectación al suelo, subsuelo y acuífero en las actividades agrícolas se calificó como fugaz; la mayoría tienen una permanencia temporal, salvo la Reducción de cobertura vegetal para Asentamientos Humanos y Actividades Turísticas, la afectación al suelo por la extracción de materiales pétreos, afectación al Acuífero por demanda de agua y riesgos de contaminación, los cambios de los patrones demográficos, y los impactos positivos de Derrama económica y generación de empleos, que se considera serán permanentes.

La mayoría de los impactos pueden ser reversibles a mediano plazo sin la intervención humana, salvo la extracción de materiales pétreos, la presión y demanda de infraestructura, riesgo de asentamientos irregulares, y reducción de la cobertura vegetal para Asentamientos Humanos.

La mayoría de los impactos exceptuando la extracción de materiales pétreos, que se calificó como irre recuperable, cuenta con medidas de mitigación que pueden ser aplicadas para reducir sus efectos nocivos, o en su caso pueden recuperarse a mediano plazo.

Los que se califican como de efecto directo son el Retiro de la cubierta vegetal, la presión sobre la infraestructura existe y la demanda de nuevas redes de distribución y comunicación, así como la afectación al suelo por la actividad minera. Respecto a los demás su efecto se calificó como indirecto pues obedecen a acciones derivadas de otras necesidades para cada actividad económica.

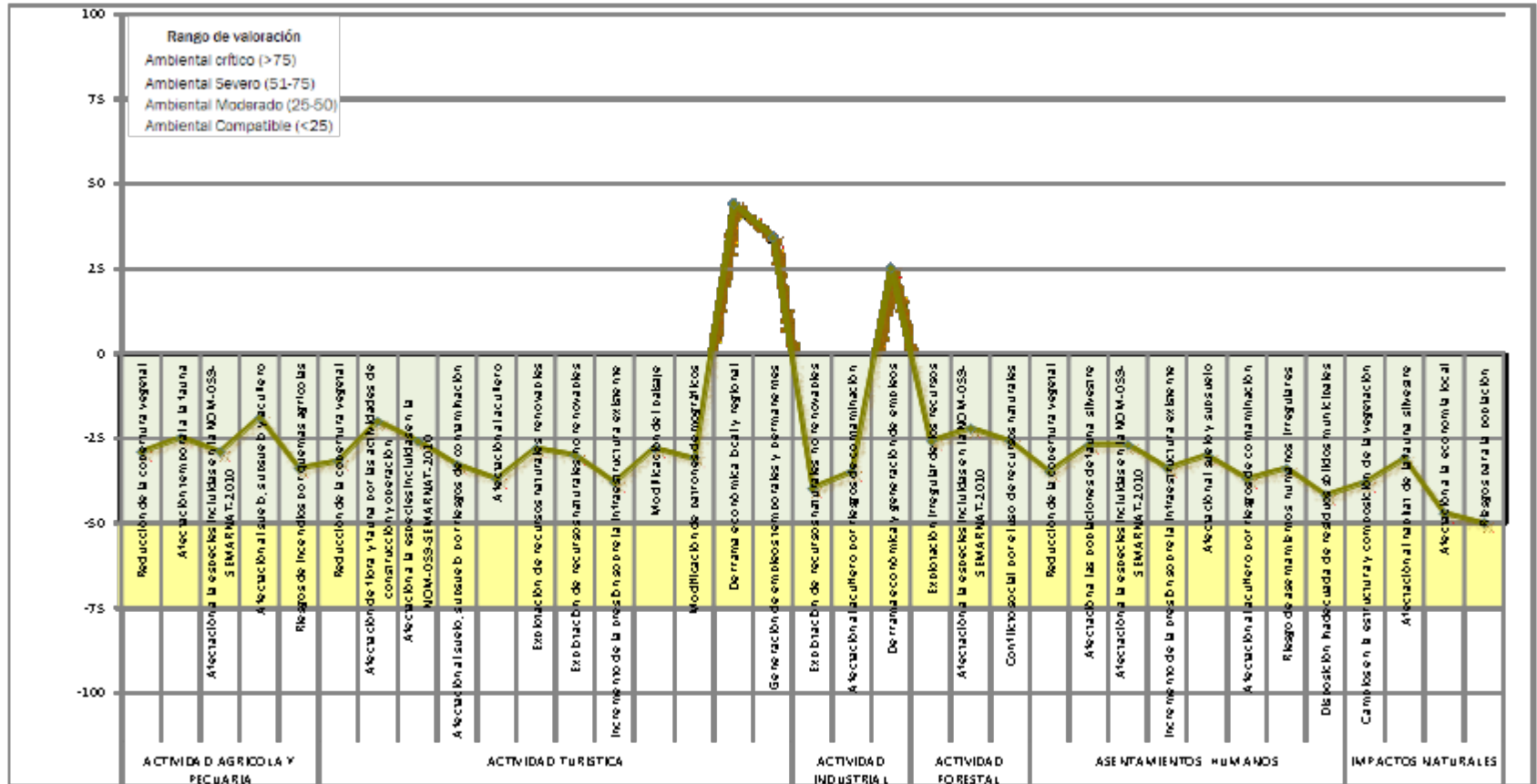
Dentro de los impactos detectados se encontraron que 13 son sinérgicos de manera moderada, dos de ellos de naturaleza positiva y 11 negativos. En la **Tabla 26**, y en la **Figura 36** se presenta una tabla que resume los efectos de éstos y la gráfica correspondiente.

Tabla 26. Impactos sinérgicos.

IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL	SINÉRGICO	EFFECTOS COLATERALES
Reducción de cobertura vegetal	✓	Afectación a la fauna por la fragmentación y reducción de su hábitat
		Cambios en la estructura original de la vegetación
		Cambios en el microclima
Contaminación al suelo, subsuelo y acuífero	✓	Afectación a la salud humana
		Afectación a las poblaciones de fauna estigobia
Pérdida y calidad del suelo	✓	Proliferación de fauna nociva
		Riesgos de contaminación al acuífero
Requerimientos de agua	✓	Sobre explotación del recurso
		Riesgos de contaminación
Manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos	✓	Proliferación de fauna nociva
		Contaminación al suelo, subsuelo y acuífero
Modificación del paisaje natural	✓	Riesgos a la salud humana
		Afectación a paisajes
Riesgos de incendios	✓	Afectación a la flora y fauna
		Riesgos para la población
Incremento en la presión de la infraestructura existente	✓	Riesgos de contaminación por la disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos
		Pérdida de oportunidades para actividades comerciales en sitios de belleza natural que no cuentan con accesos
Conflicto social por el uso de recursos naturales renovables	✓	Riesgos a la integridad física de los involucrados
Modificación de los patrones demográficos	✓	Presión para la infraestructura y servicios para la población creciente
		Perdida de la identidad cultural
		Demanda de vivienda
Derrama económica	✓	Beneficios al fisco por la recaudación de impuestos
		Reactivación de la economía
Generación de empleos	✓	Generación de fuentes de empleo
		Beneficios económicos a las familias de los beneficiados
Riesgos para la población	✓	Actos vandálicos derivados después del paso de huracanes

En las actividades económicas y asentamientos humanos la mayoría de los impactos son acumulativos pues se suman a las afectaciones al mismo elemento del medio pero en diferente escala.

En relación a la regularidad de manifestación de los impactos detectados, éstos son periódicos o irregulares. Los que se calificaron como continuos se centran para la Actividad Turística y tiene que ver con el latente riesgo de contaminación al suelo, subsuelo y acuífero por el mal manejo de residuos sólidos y aguas residuales, la demanda de infraestructura, los cambios de los patrones demográficos y la derrama económica.





Gobierno del Estado de
Quintana Roo



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IV.7. LAS TENDENCIAS DE DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y DE CAMBIO DE LOS ATRIBUTOS AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA APTITUD DEL TERRITORIO PARA EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES SECTORIALES.

En lo referente a las tendencias de deterioro de los recursos naturales del municipio se considera que los procesos actuales de desarrollo no plantean una amenaza generalizada para los bienes y servicios ambientales que definen la aptitud del territorio ya que como se mencionó en la superficie municipal sólo se identificaron como áreas sin vegetación no vinculadas a actividades agrícolas de alrededor de 5,000 hectáreas para 2009, las que representan un porcentaje muy bajo del territorio de Tulum con un 2.47 %. En el escenario Contextual al 2037 se estima que las áreas sin vegetación se ubicarán alrededor de las **9,417 hectáreas**, que corresponden al 4.61 % del territorio municipal.

Se considera que para revertir la problemática ambiental que existe de manera puntual en algunos sitios del municipio por el inadecuado manejo de residuos sólidos y líquidos es factible la aplicación de técnicas y medidas tendientes a la solución de la problemática.

IV.7.1. Vegetación Forestal.

En cuanto a este aspecto se encontró que la vegetación forestal en el municipio presenta una recuperación importante, ya que se determinó una reducción notable de los terrenos agrícolas que pasaron de más de 14,210 hectáreas a 3,623 hectáreas.

Los manglares en el análisis realizado se incrementaron en alrededor de 259.53 hectáreas, y en la caracterización se determinó la existencia de 5,623 hectáreas, mismas que para el 2037 se mantienen sin cambio.

La captación de bióxido de carbono se incrementará, tanto por la recuperación de la vegetación, así como por el incremento en los niveles de CO₂ en la atmósfera por lo que de acuerdo con lo establecido por Philips et al 1998, se estima que se puede llegar a generar en el lapso de los 25 años de este escenario la captación de **2,854,232 toneladas de carbono**.

La biodiversidad asociada a la vegetación forestal se mantiene y sólo se presentan afectaciones a algunas especies de manera puntual. Los recursos forestales no son aprovechados de manera formal.

Un factor del cual no se tienen estadísticas es de la afectación derivada del cambio de uso del suelo por la venta de terrenos ejidales que en las imágenes analizadas no representa superficies considerables pero que se considera un aspecto de atención, ya que han ocurrido situaciones desafortunadas en el municipio Benito Juárez por la falta de control en este tema.

IV.7.2. Sustrato Calizo

Debido a los usos industriales se genera la afectación de unas 810 hectáreas para el año 2037. Este uso no impacta de manera considerable en la captación para recarga del acuífero, y permite el suministro de materiales para la construcción. Este uso no genera la afectación del hábitat de especies estigobias ya que no se expone el manto freático.

IV.7.3. Biodiversidad

En este caso se considera que la ampliación del horizonte urbano ocasionará impactos puntuales a nivel municipal con la afectación a especies de flora y fauna ampliamente distribuidas en el estado, algunas de las cuales se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010, para las cuales es factible la aplicación de programas de rescate con los que se mitigue el impacto. Un grupo de especial relevancia son las especies estigobias, sobre las cuales la creciente presión por el desarrollo del espeleobuceo puede generar alteraciones en sus frágiles poblaciones.

Por otra parte la existencia de áreas naturales protegidas en el municipio contribuye a la protección de la biodiversidad municipal a largo plazo.

IV.7.4. Recursos Hídricos

Sobre este recurso se presentan las siguientes situaciones, existe el riesgo de contaminación del acuífero por las siguientes causas: disposición inadecuada de residuos sólidos en el área de Tulum, debido a la existencia de un tiradero a cielo abierto sin protección del suelo, así como por la disposición inadecuada de aguas residuales urbanas, hoteles y viviendas en la costa. Según los cálculos realizados se generarán alrededor de 12,896,555 m³ de aguas residuales para el año 2037.

Por lo que de no establecer las redes de drenaje y plantas de tratamiento de aguas residuales generarán impactos considerables en el área de influencia urbana y turística.

Por otra parte se generará una demanda de agua potable del orden de 16,443,267 m³ para atender las necesidades de la población y servicios turísticos.

Debido a la importancia que tienen los ríos subterráneos por la presencia de fauna única es imprescindible que se regulen los usos urbanos, turísticos y de buceo en cuevas de manera tal que se permita su aprovechamiento sostenido

IV.7.5. Playas y dunas costeras

En este rubro se considera que no se anticipan afectaciones de consideración, ya que la mayor parte de las playas del municipio se encuentran dentro de áreas naturales protegidas, por lo que sus servicios ambientales como la anidación de tortugas marinas tendrán pocos cambios, además de la cultura de protección con la que se cuenta en la zona. Los impactos más considerables se pueden derivar del desarrollo turístico y del paso de tormentas tropicales y huracanes que incidan en el municipio.

IV.7.6. Humedales

En este bien natural no se anticipan tendencias de deterioro, debido a la política de protección de este tipo de vegetación. Pueden surgir alternativas de uso que den cumplimiento a lo establecido en la normatividad. Un punto favorable para esta vegetación es que el 70 % se distribuye dentro de áreas naturales protegidas, lo que garantiza su persistencia a largo plazo.

IV.8. ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS (MÉTODO KSIM)

Para la estructuración y desarrollo de un escenario tendencial que representara de forma cuantitativa y esquemática la tendencia de los factores del modelo conceptual descritos anteriormente, fue empleado el método KSIM, el cual es un algoritmo definido a partir de los métodos de impactos cruzados. El método KSIM propuesto por Kane (1972) es una técnica de simulación dinámica particularmente útil para implementar el pronóstico tal y como lo demanda el ordenamiento ecológico (Bojórquez-Tapia et al., 1997). La ventaja de esta técnica reside en su capacidad para combinar datos cuantitativos y cualitativos dentro de un esquema analítico ordenado y coherente. Esta capacidad facilita, además, la integración de la KSIM a sistemas de información geográfica (Mani et al., 2005).

- Descripción del algoritmo

La KSIM se basa en los siguientes postulados:

1. Todas las variables están acotadas en el intervalo de valores [0,1], con lo que se representa el hecho de que ningún fenómeno puede crecer o decrecer indefinidamente.
2. La respuesta de una variable tiende a cero cuando su valor se aproxima al límite inferior o superior. Esto confiere un comportamiento sigmoideo a la respuesta de una variable a su entorno.
3. El valor de una variable aumenta o disminuye dependiendo si el efecto neto de las otras variables sobre ella es positivo o negativo.
4. El efecto de una variable aumenta proporcionalmente al incremento de su valor y viceversa (ceteris paribus).
5. Las relaciones entre variables pueden describirse mediante matrices interacción.

Operativamente, la KSIM se funda en una serie de ecuaciones por diferencia para expresar que el valor de una variable en un tiempo dado ($t + 1$) depende de su valor en el instante anterior (t) y el grado de cambio que experimente en ese lapso. El postulado 1 condiciona la normalización de todas las variables del sistema al intervalo [0,1] de forma tal que:

$$0 \leq x_i(t) \leq 1, \text{ para toda } i = 1, 2, \dots, N \text{ y toda } t \geq 0, (1),$$

Donde i es el índice de variables, N es el número total de variables y t es el tiempo de simulación.

Los postulados 2 al 4 se expresan mediante la siguiente ecuación por diferencia:

$$x_i(t+1) = x_i(t)^{\Phi_{it}}$$

El exponente Φ_{it} representa el cambio de una variable x_i del tiempo t al tiempo $t + 1$. En esencia es un cociente en el cual el numerador corresponde a la sumatoria de las interacciones negativas (i.e., el aumento de x_j significa la disminución de x_i) y el denominador corresponde a la sumatoria de las positivas (i.e., el aumento de x_j significa la disminución de x_i). De esta forma, si la sumatoria del numerador es mayor a la del denominador, entonces $\Phi_{it} > 0$ y $x_i(t+1) \rightarrow 0$; al contrario, si la sumatoria del numerador es menor a la del denominador, entonces $\Phi_{it} < 0$ y $x_i(t+1) \rightarrow 0$. Formalmente, Φ_{it} se calcula de la siguiente forma:

$$\Phi_{it} = \frac{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^N \left[\left| \alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right| - \left(\alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right) \right] x_j}{1 + \frac{\Delta t}{2} \sum_{j=1}^N \left[\left| \alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right| + \left(\alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{dx_j}{dt} \right) \right] x_j}$$

y

$$\frac{dx_j(t)}{dt} = -x_i \ln x_i \left(\sum \alpha_{ij} x_j + \sum \beta_{ij} x_j \right)$$

Conforme al postulado 5, α_{ij} y β_{ij} corresponden a valores en sendas matrices de interacción. En estas matrices, en cada celda se indica la intensidad y tipo de interacción entre pares de variables. Típicamente la intensidad se mide con una escala cardinal asociada a variables lingüísticas (por ejemplo: 0 = Nula; 1 = Muy Baja; 2 = Baja; 3 = Moderada; 4 = Alta; y 5 = Muy Alta) y con el signo si la interacción es positiva o negativa. Por lo común, α_{ij} y β_{ij} se mantienen constantes en todo el tiempo de simulación, aunque también pueden hacerse variar mediante el uso de ecuaciones en las celdas correspondientes (Bonnicksen, 1981). Sin embargo Sánchez (2003) sugiere una escala de valoración en la que cada factor analizado muestra su grado de influencia en la ocurrencia o aparición de otro, tal y como se muestra en la **Tabla 27**.

Tabla 27. Escala de impacto relativo, método de impactos cruzados.

Intensidad	Descripción	Efecto
------------	-------------	--------

4	Impulso esencial	Favorable (+)
3	Impulso importante	
2	Significativo efecto impulsor	
1	Ligero efecto impulsor	
0	Ningún Efecto	Nulo (0)
-1	Ligero efecto inhibitorio	Desfavorable (-)
-2	Significativo efecto inhibitorio	
-3	Importante obstáculo	
-4	Obstáculo insuperable	

Una interacción α_{ij} indica la relación de tipo “nivel” o acumulativa. Esto es, el efecto de la variable causante, x_j , se “almacena” en x_i durante todo el período de simulación. Un ejemplo de una relación α_{ij} es la de la población (x_j) con el consumo per cápita en sector urbano (x_i). Una interacción β_{ij} indica la relación de tipo “tasa” o flujo. Esto es, el efecto sobre x_i solamente se manifiesta cuando la variable causante, x_j , cambia de valor en un período de simulación.

- Asignación de valores

La asignación de las probabilidades iniciales, es decir, los valores de partida o de entrada para la simulación en el método KSIM, son asignados por una probabilidad subjetiva de ocurrencia para un horizonte de tiempo especificado. Esta probabilidad representa la probabilidad inicial en caso de que suceda el evento y los valores asignados a esta varían de [0,1].

El establecimiento de las probabilidades iniciales se llevó a cabo considerando los valores de la importancia relativa que cada uno de los sectores presentes en la región tienen en la presencia de los procesos de deterioro como la pérdida de cobertura vegetal, el efecto del crecimiento poblacional, la degradación de bienes y servicios ambientales, entre otros. Dicha importancia relativa fue determinada a través de un proceso de análisis jerárquico (AHP) donde, en primera instancia, se evaluó la importancia relativa entre procesos de degradación para posteriormente ser utilizada como ponderador con los valores de importancia relativa de cada uno de los sectores con respecto a los procesos de degradación mencionados. Todo esto realizado en el software Super decisions bajo el esquema presentado en la **Figura 37**.

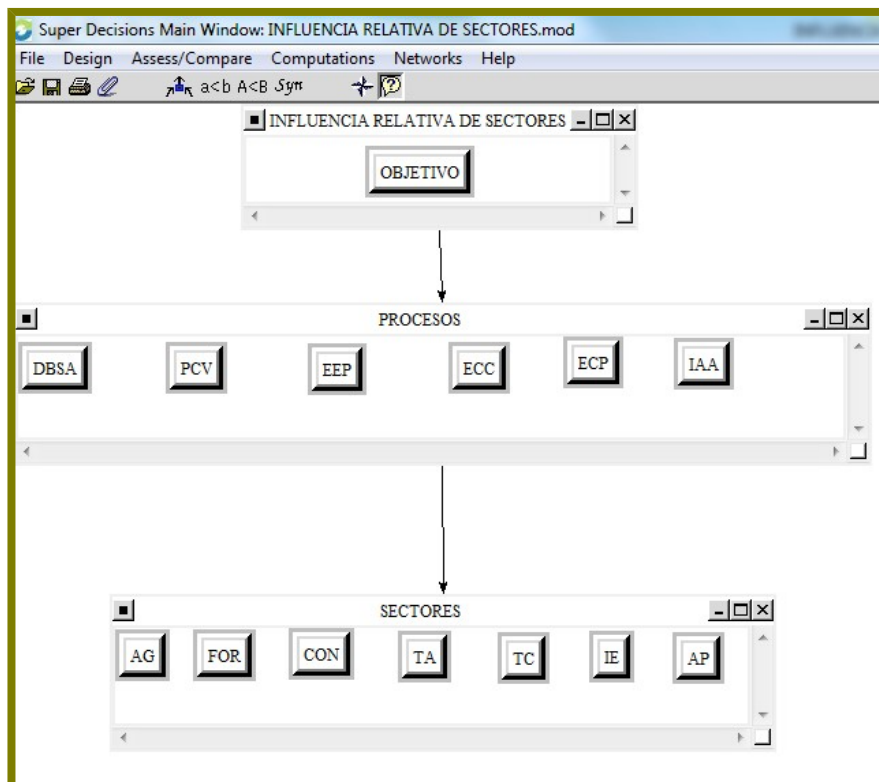
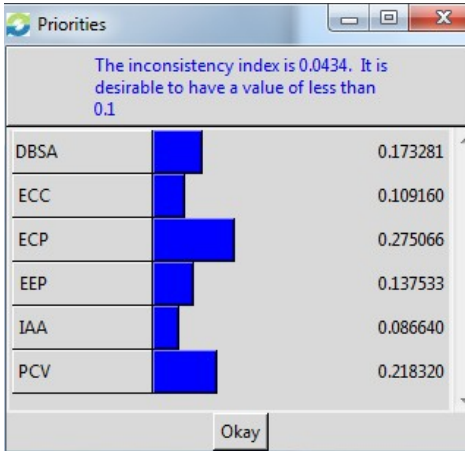


Figura 37. Proceso AHP para la obtención de la importancia relativa de los sectores. Los procesos A través del proceso de AHP fue posible obtener la importancia relativa de los sectores con respecto a los procesos de degradación, la cual fue utilizada como valores iniciales para correr la simulación por el método KSIM. DBSA=Degradación de bienes y servicios ambientales, PCV=Pérdida de cobertura vegetal, EEP=Extinción de especies protegidas, ECC=Efectos del cambio climático, ECP=Efecto del crecimiento poblacional, IAA=Impactos ambientales acumulativos. AG=Agricultura, FOR= Forestal, CON= Conservación, TA=Turismo alternativo, TC=Turismo convencional, IE=Industria del extracción, AP=Apicultura.

Como se mencionó anteriormente los procesos de degradación fueron sometidos a una comparación pareada a través un AHP, el cual arrojó como resultado que los efectos del crecimiento poblacional (ECP), es el proceso de deterioro de mayor importancia o influencia en el municipio de Tulum con un valor de 0.275 (**Tabla 28**), seguido por la pérdida de la cobertura vegetal (PCV) y la degradación de bienes y servicios ambientales (DBSA) con valores de 0.218 y 0.173 respectivamente. Asimismo el proceso que presenta una menor importancia corresponde a los impactos ambientales acumulativos (IAA) con un valor de 0.087.

Tabla 28. Matriz de comparación pareada para los procesos de deterioro. El resultado de la comparación pareada en la matriz se muestra en el gráfico de la derecha, donde se aprecia que el proceso de deterioro de mayor relevancia es efecto del crecimiento poblacional (ECP).

	DBS A	ECC	ECP	EEP	IAA	PCV
DBS A	1	2	0.5	2	2	0.5
ECC	0.5	1	0.5	0.5	2	0.5
ECP	2	2	1	2	2	2
EEP	0.5	2	0.5	1	2	0.5
IAA	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5
PCV	2	2	0.5	2	2	1



The screenshot shows a window titled 'Priorities' with the following text: 'The inconsistency index is 0.0434. It is desirable to have a value of less than 0.1'. Below this is a bar chart showing the priority weights for each category: DBSA (0.173281), ECC (0.109160), ECP (0.275066), EEP (0.137533), IAA (0.086640), and PCV (0.218320). An 'Okay' button is visible at the bottom right of the window.

Una vez obtenida la valoración de los procesos de deterioro se procedió a evaluar la influencia que cada uno de los sectores tiene sobre los mismos, para lo cual se desarrollaron 5 matrices de comparación, una por proceso de deterioro. A continuación se presenta la valoración realizada en cada una de las matrices a través del método AHP y los resultados correspondientes.

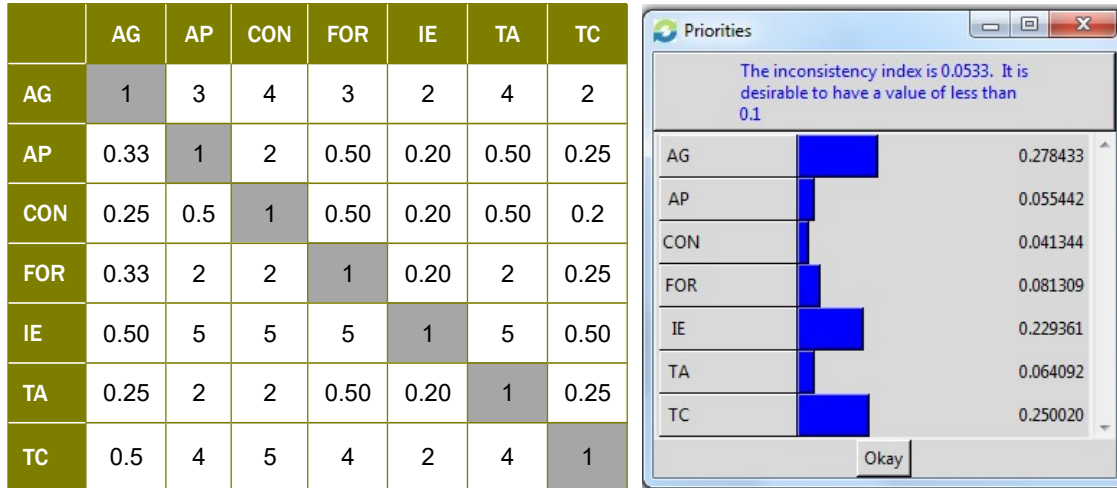
- Degradación de bienes y servicios ambientales

Los tres sectores que tienen una influencia potencial en la degradación de los bienes y servicios ambientales en el municipio de Tulum son la agricultura, el turismo convencional, y la industria de la extracción de materiales, todos muy por encima del resto y con valores no muy diferentes entre ellos.

La agricultura presenta un valor relativo de 0.28, mientras que el turismo convencional y la industria de la extracción se encuentran en 0.25 y 0.23 respectivamente.

En la **Tabla 29** se muestra la matriz de comparaciones pareadas desarrollada para la determinación de la influencia relativa de los sectores sobre el proceso de deterioro de bienes y servicios ambientales, así como los resultados de la misma a través de un gráfico.

Tabla 29. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en el deterioro de los bienes y servicios ambientales. El gráfico de la derecha señala que los sectores con mayor influencia en el cambio climático son la agricultura, el turismo convencional y la industria de la extracción.



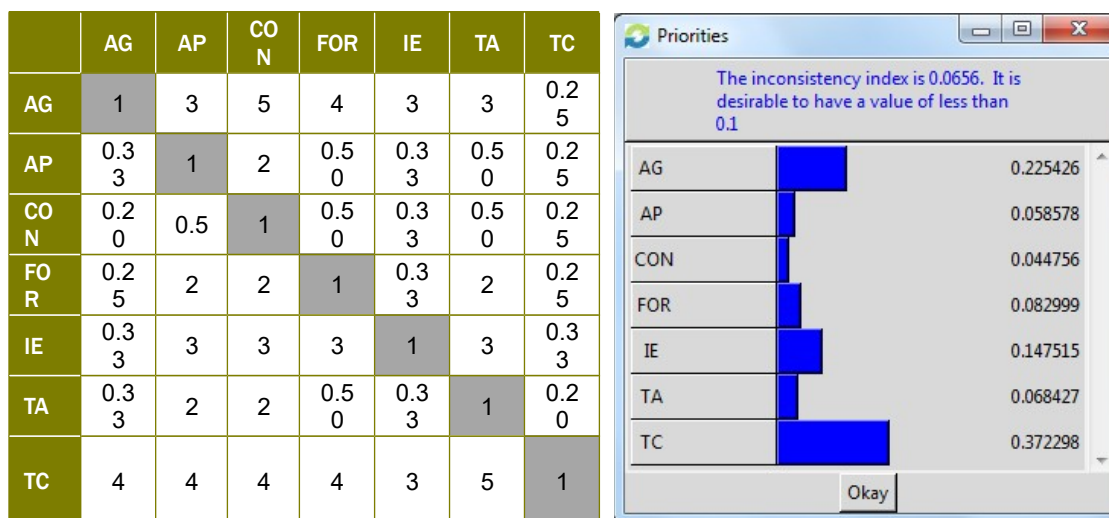
- Efectos del cambio climático

Debido a que el cambio climático es un fenómeno que ocurre a escala global su valor de importancia es el segundo más bajo en con respecto a los demás procesos de deterioro. Sin embargo, su evaluación fue necesaria para establecer un análisis integral tal y como se manifiesta en el modelo conceptual.

La comparación pareada de cada uno de los sectores para determinar la influencia que estos poseen en el cambio climático y sus efectos, dio como resultado que el turismo convencional y la agricultura son los sectores de mayor incidencia, con valores de 0.37 y 0.22 respectivamente.

La conjunción de ambos valores representa más de la mitad de la importancia total, por lo cual es posible concluir con claridad que estos sectores son lo de mayor influencia en dicho proceso de deterioro. En la **Tabla 30** se muestran los resultados de la comparación realizada para la determinación de la influencia de los sectores en este proceso de deterioro.

Tabla 30. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en los efectos del crecimiento poblacional. El gráfico de la derecha señala que los sectores con mayor influencia en el cambio climático son el turismo convencional y la agricultura.



- Efectos del crecimiento poblacional

De acuerdo a la comparación realizada entre sectores para determinar su influencia en el crecimiento poblacional, el sector con mayor influencia en este fenómeno es el turismo convencional, con valor relativo de 0.34, seguido del turismo alternativo con 0.19.

Lo anterior no sólo representa que el turismo convencional es el sector con mayor influencia en este proceso de deterioro, sino uno de los sectores con mayor influencia en la degradación del municipio, puesto que los efectos del crecimiento poblacional representan el proceso de deterioro más relevante.

En la **Tabla 31** se muestran los resultados de la comparación realizada para la determinación de la influencia de los sectores en este proceso de deterioro.

Tabla 31. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en los efectos del crecimiento poblacional. El gráfico de la derecha señala que los sectores con mayor

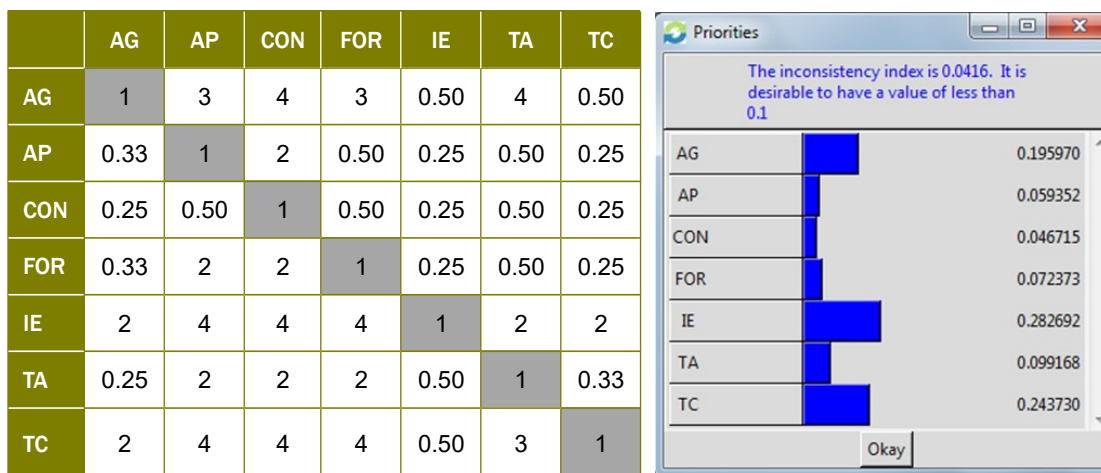
influencia en el crecimiento poblacional son el turismo convencional, el turismo alternativo y la industria de la extracción.



- Extinción de especies protegidas

Los sectores de mayor incidencia en este proceso son el turismo convencional y la industria de la extracción de materiales, con valores de 0.24 y 0.28 respectivamente. En la **Tabla 32** se muestran los resultados de la comparación realizada para la determinación de la influencia de los sectores en este proceso de deterioro.

Tabla 32. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en la extinción de especies protegidas. El gráfico señala los sectores con mayor influencia en el crecimiento poblacional son el turismo convencional y la industria de la extracción.



- Impactos ambientales acumulativos

La matriz de comparación elaborada para la determinación de la influencia relativa de los sectores en los impactos ambientales acumulativos se desarrolló tomando en cuenta la matriz de valoración de impactos descrita en secciones anteriores, de tal manera que a partir de esta última fuera posible la identificación de los sectores implicados en los impactos identificados. Por lo tanto la matriz de comparación pareada es resultado de la conjunción de dos tipos de análisis, los cuales dieron como resultado que el sector con mayor influencia en los impactos ambientales acumulativos del municipio de Tulum es el turismo convencional con un valor relativo de 0.33, seguido de la agricultura con valor relativo de 0.22. El resto de los sectores no posee valores tan representativos con lo cual se concluye que estos dos sectores son los principales impulsores de impactos acumulativos en el municipio. En la **Tabla 33** se muestra la matriz de comparaciones pareadas desarrollada para la determinación de la influencia relativa de los sectores sobre el proceso de deterioro de impactos ambientales acumulativos, así como los resultados de la misma a través de un gráfico.

Tabla 33. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en los impactos ambientales acumulativos. El gráfico de la derecha señala que los sectores con mayor influencia en los impactos ambientales acumulativos son el turismo convencional, y la agricultura.

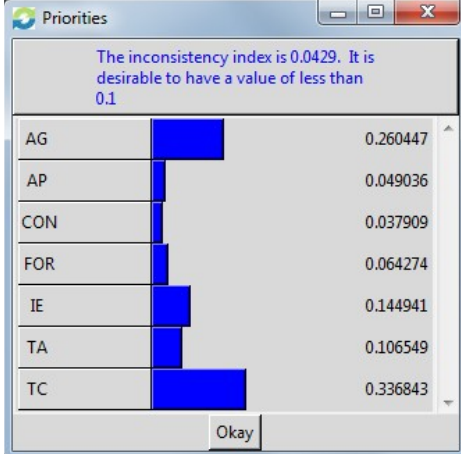
	AG	AP	CON	FOR	IE	TA	TC
AG	1	3	5	4	2	3	0.33
AP	0.33	1	2	0.50	0.33	0.50	0.25
CON	0.20	0.50	1	0.50	0.25	0.50	0.25
FOR	0.25	2	2	1	0.33	0.50	0.25
IE	0.50	3	4	3	1	0.50	0.50
TA	0.33	2	2	2	2	1	0.25
TC	3	4	4	4	2	4	1

- Pérdida de cobertura vegetal

En cuanto a la pérdida de cobertura vegetal los sectores de mayor influencia en este proceso de deterioro resultaron ser el turismo convencional y la agricultura, con valores relativos de 0.34 y 0.26 respectivamente, presentando una diferencia considerable con respecto al resto de los sectores comparados en la matriz. A partir de esto se puede concluir que ambos sectores representan la principal causa y desarrollo de la pérdida de cobertura vegetal en el municipio y sus impactos asociados. En la **Tabla 34** se presenta la matriz de comparación pareada de los sectores con respecto a su influencia en la disminución de la cobertura vegetal.

Tabla 34. Matriz de comparación pareada para la determinación de la influencia de los sectores en la pérdida de cobertura vegetal. El gráfico de la derecha señala que los sectores con mayor influencia en la pérdida de cobertura vegetal son el turismo convencional y la agricultura.

	AG	AP	CON	FOR	IE	TA	TC
AG	1	5	5	4	4	2	0.50
AP	0.20	1	2	0.50	0.33	0.33	0.20
CON	0.20	0.50	1	0.50	0.20	0.33	0.20
FOR	0.25	2	2	1	0.33	0.50	0.20
IE	0.25	3	5	3	1	2	0.33
TA	0.50	3	3	2	0.50	1	0.25
TC	2	5	5	5	3	4	1



The screenshot shows a window titled 'Priorities' with a message: 'The inconsistency index is 0.0429. It is desirable to have a value of less than 0.1'. Below the message is a bar chart with the following data:

Category	Value
AG	0.260447
AP	0.049036
CON	0.037909
FOR	0.064274
IE	0.144941
TA	0.106549
TC	0.336843

La conjunción final de valores relativos se llevó a cabo a través de una suma ponderada, donde cada valor de importancia de los procesos funcionó como ponderador para cada valor de influencia de los sectores, siendo el valor importancia final la suma de estas ponderaciones, tal y como lo muestra la siguiente expresión:

$$S = \sum (S_{ij} * P_j)$$

Donde:

S = Importancia final para el sector

S_{ij} = Valor de influencia del sector i con respecto al proceso de deterioro j

P_j = Valor de importancia del j (ponderador)

A continuación se presenta en la **Tabla 35** que sintetiza los resultados finales de los análisis establecidos anteriormente y el resultado final.

Tabla 35. Síntesis de resultados finales. El gráfico a la izquierda integra los resultados obtenidos en cada una de las comparaciones pareadas realizadas y definidas anteriormente, así como los resultados finales de las mismas.

Procesos	DBSA	ECC	ECP	EEP	IAA	PCV	Resultado
Ponderador	0.17328 1	0.10916	0.27506 6	0.13753 3	0.08664	0.21832	

AG	0.27843 3	0.22542 6	0.13284 6	0.19597	0.22497 7	0.260447	0.2127012 1
AP	0.05544 2	0.05857 8	0.05125 4	0.05935 2	0.06071	0.049036	0.0542279 6
CON	0.04134 4	0.04475 6	0.03871 4	0.04671 5	0.04501 9	0.037909	0.0413001 9
FOR	0.08130 9	0.08299 9	0.06949 3	0.07237 3	0.07109 1	0.064274	0.0724099 4
IE	0.22936 1	0.14751 5	0.1683	0.28269 2	0.14166 6	0.144941	0.1849371 9
TA	0.06409 2	0.06842 7	0.19547	0.09916 8	0.12298 2	0.106549	0.1198983 8
TC	0.25002	0.37229 8	0.34392 4	0.24373	0.33355 5	0.336843	0.3145252 5

Los resultados anteriores señalan que los sectores con mayor importancia o influencia relativa con respecto a los procesos de deterioro son el turismo convencional, la agricultura, la industria de la extracción y el turismo alternativo. Asimismo dichos resultados reflejan que el turismo alternativo es el sector que posee la mayor importancia relativa en comparación con el resto de sectores, ya que posee un valor de importancia final de 0.31, valor considerablemente alto puesto que representa prácticamente la tercera parte de la valoración total, además, posee una importancia relativa seis veces mayor al sector productivo de menor importancia final. En la **Figura 38** se muestra la gráfica que representa las relaciones porcentuales en los resultados señalados.

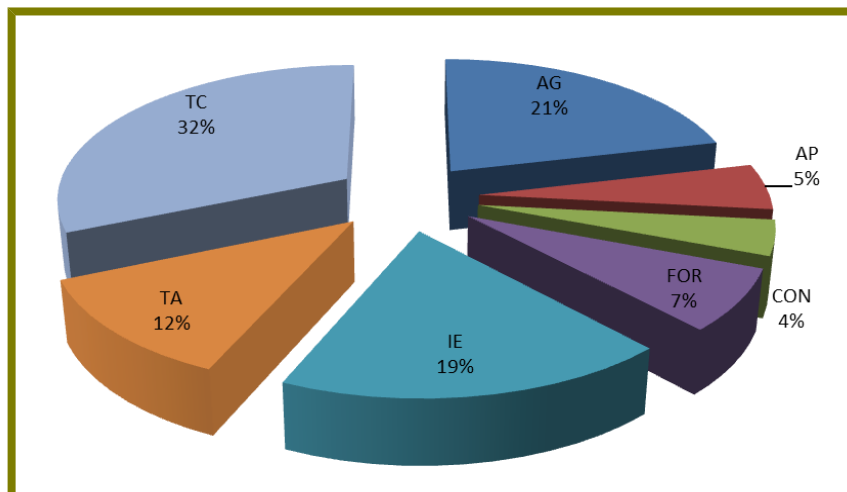


Figura 38. Valores de importancia relativa de los sectores con respecto a los procesos de deterioro.

Los resultados derivados del AHP en las comparaciones descritas anteriormente fueron utilizados como horizonte cero o valores base para el inicio de las simulaciones con el método KSIM, de tal forma que representan los valores de partida en la simulación. Por lo cual, el siguiente paso fue realizar la matriz de impactos cruzados que representara las relaciones positivas y negativas que los sectores tienen entre sí, utilizando para ello supuestos derivados de los datos de tendencias descritos en apartados anteriores. La **Tabla 36** presenta la matriz de impactos cruzados, en la cual cada celda representa el valor positivo o negativo (de acuerdo con la Tabla 25) que deriva del efecto que tiene el sector de la fila en el sector de la columna, bajo la connotación de que la tendencia registrada en el sector de la fila no presentará ninguna modificación.

Tabla 36. Matriz de impactos cruzados (Método KSIM).

SECTOR	AG	AP	FOR	TA	IE	TC	CON
AG		-1.00	-3.00	-3.00	0.00	0.00	-4.00
AP	0.00		1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
FOR	0.00	1.00		-1.00	-1.00	0.00	2.00
TA	-1.00	0.00	-1.00		-2.00	3.00	2.00
IE	-1.00	-1.00	-2.00	-1.00		0.00	-3.00
TC	-3.00	0.00	-3.00	4.00	2.00		-4.00
CON	0.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	-3.00	

La simulación corrida a través de las relaciones sectoriales definidas en la tabla anterior, dio como resultado la definición de tendencias de desarrollo para cada uno de los sectores. En dichas tendencias el sector que muestra un claro incremento, incluso por encima de los demás, es el turismo convencional, seguido del turismo alternativo. La implicación directa que tiene esta tendencia es el incremento de procesos de deterioro involucrados en la misma, ya que al ser el turismo convencional el sector que tiene mayor influencia en los procesos de deterioro se espera que ocurran incrementos en la pérdida de cobertura vegetal, incrementos en el deterioro de bienes y servicios ambientales, así como un incremento de los problemas asociados al crecimiento poblacional. Por otra fueron identificadas tendencias negativas por parte de los sectores forestal, agrícola, industria de la extracción y conservación, en su mayoría incrementos en los procesos de deterioro. En la **Figura 39** se muestra la tendencia relativa que deriva del análisis de impactos cruzados desarrollado.

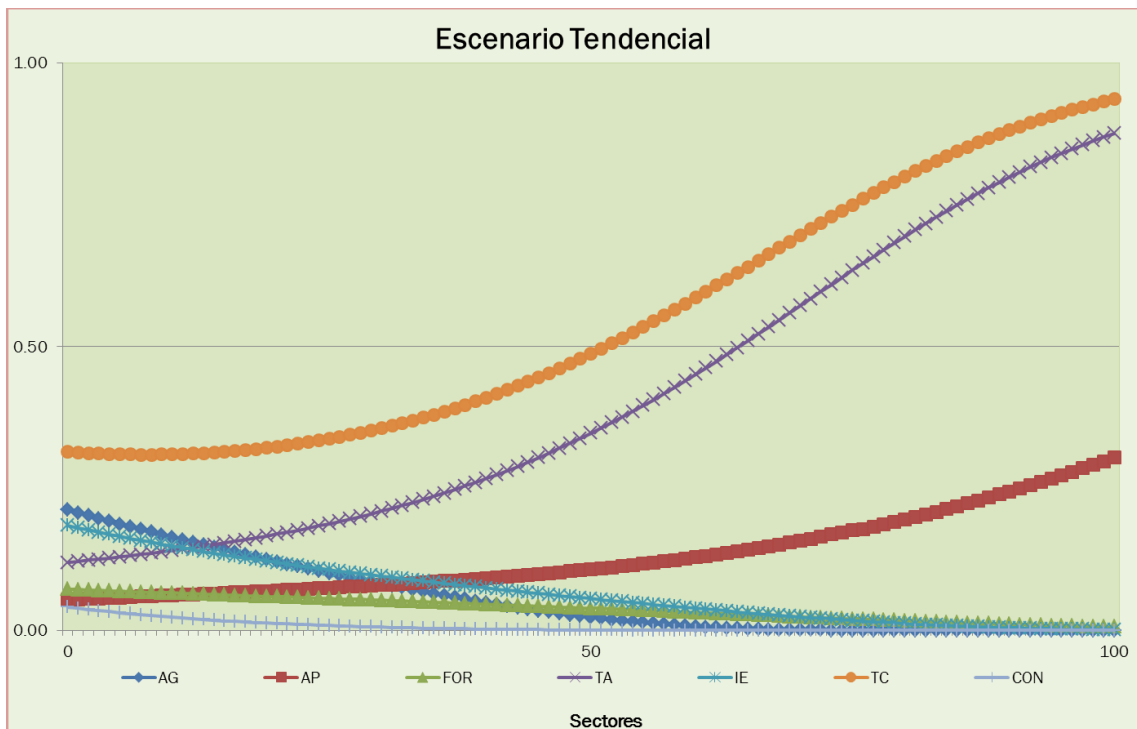
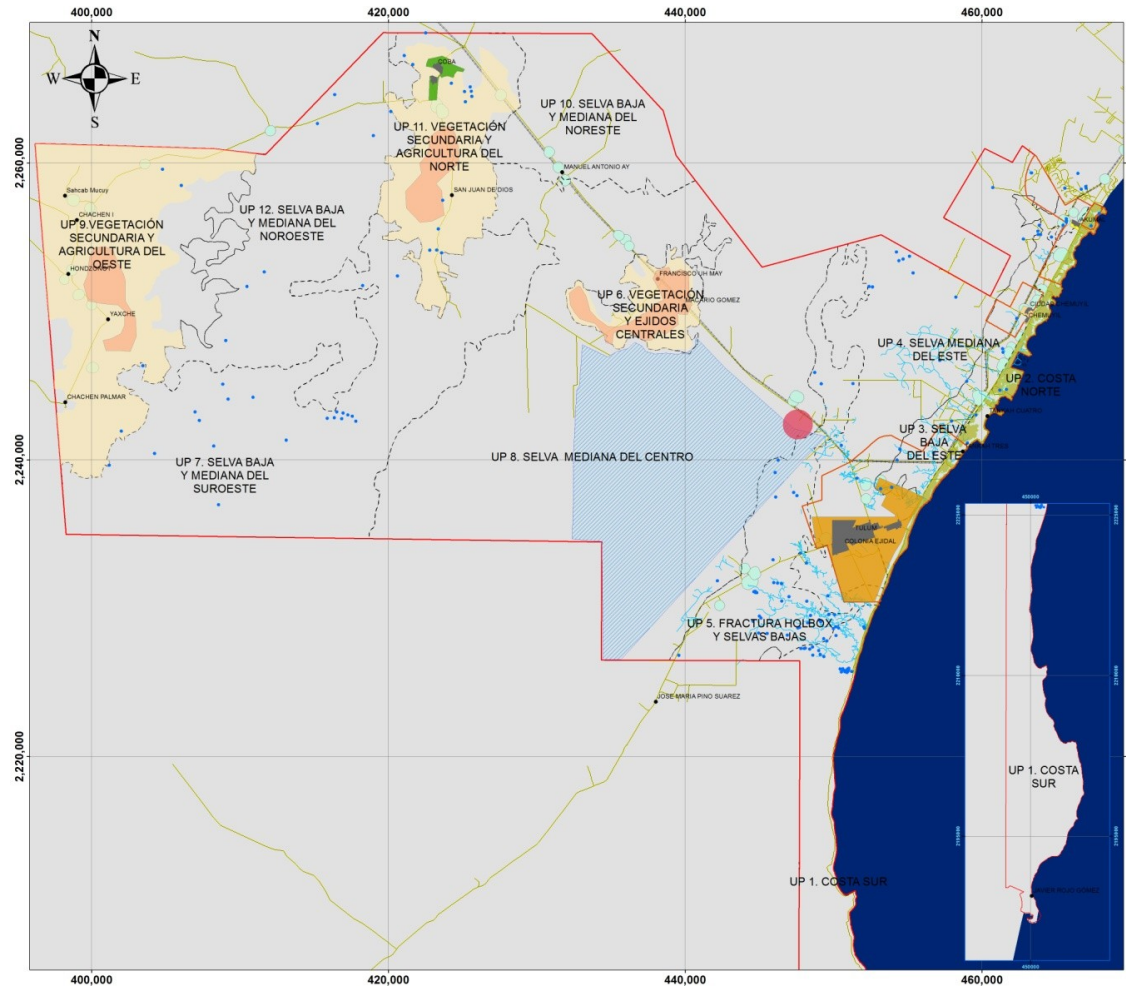


Figura 39. Resultados del análisis de impactos cruzado (Método KSIM). Se muestran las posibles tendencias de cada uno de los sectores analizados.

IV.9. REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA

Con la intención de presentar los resultados de las consideraciones realizadas con respecto al comportamiento de las variables analizadas, en particular aquellas relativas al crecimiento de los centros urbanos, la demanda de bienes y servicios ambientales y la realización de las actividades sectoriales se presenta en la **Figura 40** el mapa que contiene el escenario tendencial. Destaca la superficie establecida como protección del acuífero, las áreas de cultivos, mismas que se redujeron drásticamente, las áreas para sascaberas, la ubicación del relleno sanitario, las áreas de desarrollo potencial en la costa y el crecimiento de los centros urbanos.



PROGRAMA DE ORDENAMIENTO
ECOLÓGICO DEL TERRITORIO
MUNICIPIO DE TULUM



ESCENARIO TENDENCIAL

- POBLACIONES**
- Centros de población.....
 - Localidades.....
 - Superficie poblacional estimada al año 2037 (Ha)
 - Localidad
 - Akumal.....
 - Ciudad Chemuyil.....
 - Cobá.....
 - Tulum.....
 - Zonas de población actual.....
- LÍMITES**
- Limite municipal.....
 - Unidades de Paisaje.....
- OTROS**
- Carretera Federal 307.....
 - Ecoturismo.....
 - Línea CFE.....
 - Riesgo ambiental.....
 - Sascaberas.....
 - Zonas agropecuarias contextuales.....
 - Zonas agropecuarias actuales.....
 - Zona de captación de agua.....
 - Zonas de riesgo de afectación a especies estigobias.....
 - Zona turística.....

Detum Horizontal..... WGS 84
 Proyección..... U. T. M.
 Zona UTM..... 18Q
 Imágen de satélite..... SPOT 5
 Distancia de cuadrícula: 20. 000 metros.
 Fecha: Abril de 2012.
ESCALA 1:110,000

Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del Municipio de Tulum, Imagen Landsat 2009

Figura 40. Escenario Tendencial Tulum 2037. Se muestra el comportamiento del crecimiento del municipio en un escenario de 25 años, destaca la presencia de la zona de protección del acuífero, la reducción de las áreas agrícolas, la presencia de un tiradero a cielo abierto que genera riesgo ambiental, las áreas de sascaberas y la zona de desarrollo costero

V. ESCENARIO CONTEXTUAL

Para la construcción de este escenario se consideraron los siguientes proyectos y obras.

- Construcción del libramiento Tulum
- Tren transpeninsular
- Construcción de una planta de tratamiento.
- Establecimiento de un relleno sanitario con doble geomembrana y sistema de monitoreo uno en Tulum
- Establecimiento de una agroindustria en cada uno de los poblados de la Zona Maya
- Establecimiento de fraccionamientos turístico residencial en terrenos ejidales
- Planes y programas sectoriales 2013.

Estos planteamientos son parte de los factores que integran un escenario ideado para proyectar las necesidades y la evolución de la demanda de bienes y servicios ambientales, así como para dimensionar la magnitud de la problemática ambiental, que puede derivar de la aplicación de los planes, programas y proyectos específicos de los tres órdenes de gobierno y particulares que tengan incidencia en el territorio municipal. La integración de este escenario parte con el supuesto de que se mantienen las tendencias identificadas en el escenario tendencial, sin embargo, se evalúa el comportamiento del sistema socio-ambiental suponiendo que se llevan a cabo todos y cada uno de los puntos señalados anteriormente, de tal forma que dicha evaluación permita dimensionar el impacto de políticas públicas y grandes proyectos en el territorio municipal. Por lo tanto, al igual que en el escenario anterior, se plantearán las implicaciones teóricas en cada uno de los procesos de deterioro y posteriormente se realizará una valoración cuantitativa a través del método de impactos cruzados que permita describir el comportamiento del sistema.



Figura 40. Proyecto tren transpeninsular. El mapa el trayecto proyectado para el tren transpeninsular, en su primera etapa se plantean dos estaciones en el estado de Quintana Roo, la estación Cobá y la estación Punta Venado, mientras que en su segunda etapa se tiene contemplada una estación en la ciudad de Tulum.

V.1. DETERIORO DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES, PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL, DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS Y DE ESPECIES SUJETAS A PROTECCIÓN

Tomando en cuenta los proyectos estratégicos que se tiene planteados en la Riviera Maya y que tienen impacto directo sobre el municipio de Tulum, se tiene que la dinámica de los procesos de degradación de bienes y servicios ambientales, la pérdida de cobertura vegetal, la degradación de los ecosistemas y el daño a especies sujetas a protección presentarán un aumento mayor a la de la tendencia natural descrita para el escenario anterior. Esto se debe principalmente a que proyectos como el libramiento probablemente detonarán en el surgimiento de nuevos corredores urbanos o suburbanos, los cuales ejercerán una presión considerable sobre la demanda de servicios y bienes ambientales. Dicha aseveración es aún más probable si se considera que el programa de ordenamiento comunitario del Ejido Jacinto Pat contempla dos zonas para el desarrollo urbano y una zona destinada a la extracción de sascab (**Figura 41**).

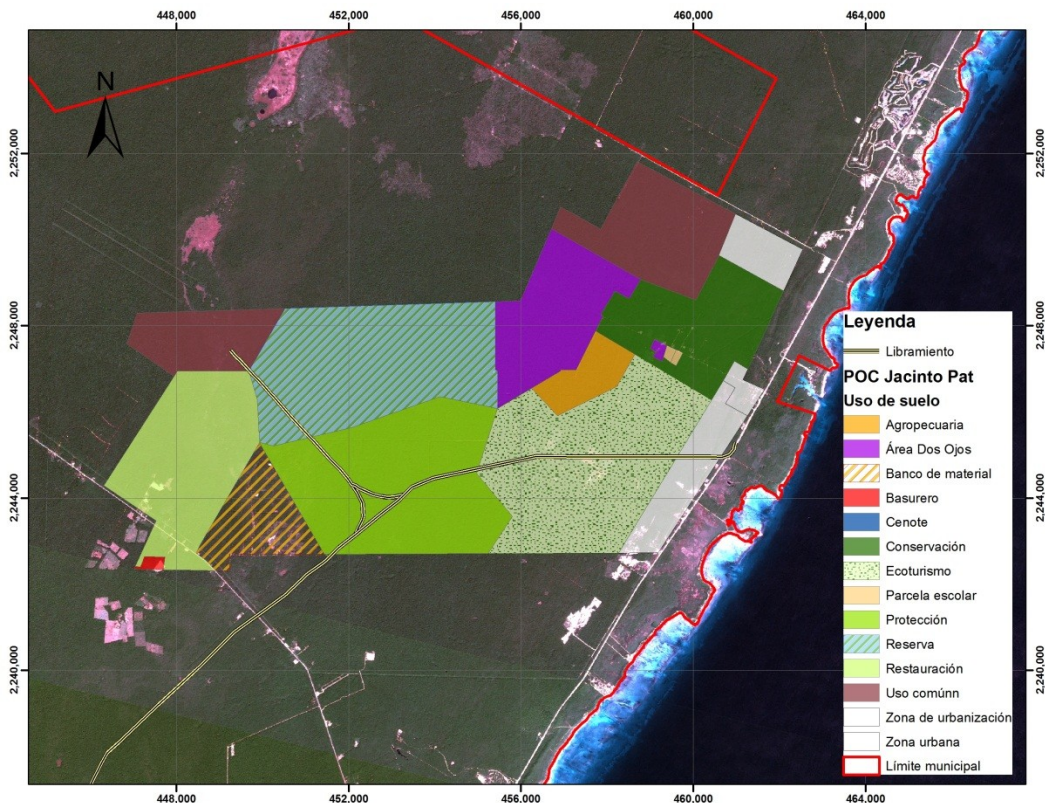


Figura 41. Programa de Ordenamiento Comunitario Ejido Jacinto Pat. El mapa muestra que existen dos zonas consideradas como urbanas, una a la orilla de la carretera federal 307 y la segunda a orilla del camino que marca el límite municipal. FUENTE: Elaboración propia a partir de la información cartográfica proporcionada por la CONAFOR-Chetumal.

La zona definida para el crecimiento urbano en este ordenamiento comunitario abarca una superficie total de 591.13 ha, la cual sustituirá, en su mayoría, una superficie que actualmente se encuentra ocupada por selva mediana subperennifolia y vegetación secundaria arbórea de la misma. Por otra parte, el establecimiento del libramiento lleva consigo a la probabilidad del desarrollo de nuevos fraccionamientos y establecimientos comerciales, situación que se ha manifestado en años recientes en Playa del Carmen.

Por otra parte, en el Ejido Jacinto Pat se tiene destinada una superficie 3,249.93 ha como zonas de conservación, restauración y protección, sin embargo, las reglas de operación del Programa Forestal Nacional (PRONAFOR 2013) no contemplan fondos federales que puedan dar promoción a las actividades de saneamiento, protección o pago por servicios ambientales, dado que el municipio de Tulum no se encuentra dentro de las zonas prioritarias factibles de recibir tales apoyos. El ejido en comento, así como la mayor parte del municipio de Tulum, únicamente se encuentra dentro de la cobertura factible del componente “desarrollo forestal comunitario” (PRONAFOR-DFC) a pesar de que en años anteriores han recibido apoyo dentro del marco de servicios ambientales. El componente de desarrollo forestal comunitario dentro del PRONAFOR contempla principalmente apoyos para el fortalecimiento de capital social y humano así como el desarrollo de capacidades de gestión, a través de talleres, seminarios y cursos.

En la **Figura 42** se muestra la superficie factible de recibir apoyos del PRONAFOR 2013 (antes PROARBOL). Se muestra la superficie contemplada por cada uno de los componentes de dicho programa que tienen alguna inferencia en el municipio de Tulum. Cabe señalar que en las nuevas reglas de operación del programa en comento, el municipio de Tulum ha quedado excluido en los componentes: servicios ambientales, manejo forestal no maderable y parcialmente en el manejo forestal maderable, ya que sólo en la superficie correspondiente al Ejido San Pedro es posible acceder a este último apoyo, sin embargo la localidad en dicho ejido apenas cuenta con dos familias.

Es claro que el municipio de Tulum, a pesar de presentar extensas selvas medianas en buen estado de conservación, no representa una zona factible para recibir apoyos de acuerdo con los lineamientos del PRONAFOR 2013, esto en por lo menos cuatro de los seis componentes del programa; por otra parte, las zonas señaladas como elegibles para acceder a apoyos bajo el componente manejo forestal maderable cuentan con una población escasa que pone en duda su aplicabilidad real. Por último, los únicos apoyos factibles para el sector son los correspondientes al componente desarrollo forestal comunitario, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el apoyo de dicho componente únicamente contempla la capacitación y el fortalecimiento de la capacidad de gestión de las comunidades.

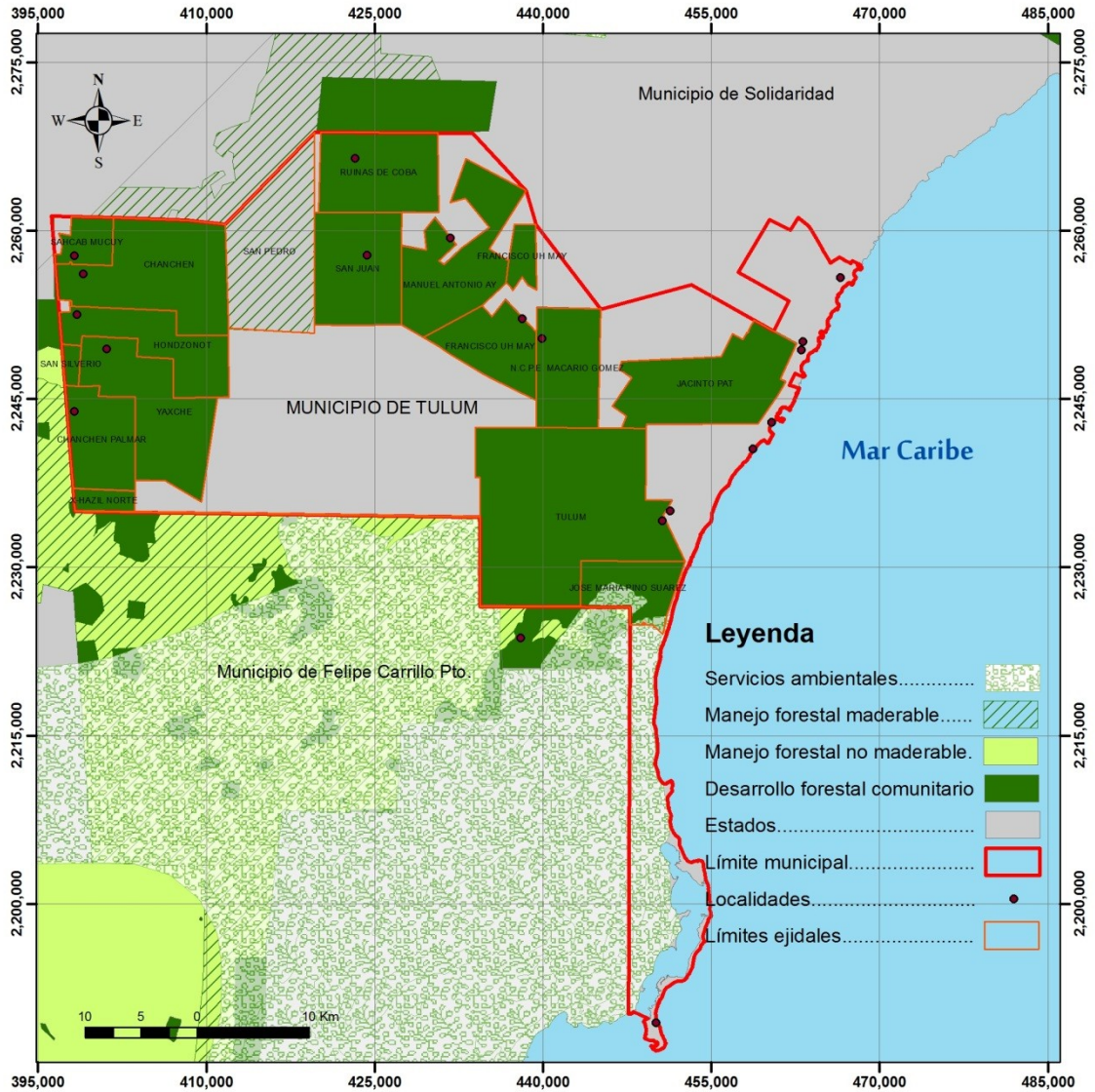


Figura 42. Coberturas PRONAFOR para los componentes: manejo forestal maderable, manejo forestal no maderable, desarrollo forestal comunitario y servicios ambientales. El mapa muestra la cobertura de las zonas factibles para acceder a los apoyos derivados del Programa nacional Forestal 2013. FUENTE: Elaboración propia a partir de la cartografía de la CONAFOR disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/tramites-y-servicios/apoyos-2013>

Por otra parte, en la **Figura 43** se presenta la diferencia entre la cobertura de superficie factible para recibir apoyo bajo el componente de servicios ambientales entre el PROARBOL 2010 y el PRONAFOR 2013, la comparación refleja claramente una disminución en las posibilidades del municipio para acceder a los apoyos federales en el sector forestal, lo cual se traduce en una tendencia hacia la disminución de apoyos para el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales, por lo menos para el municipio de Tulum.

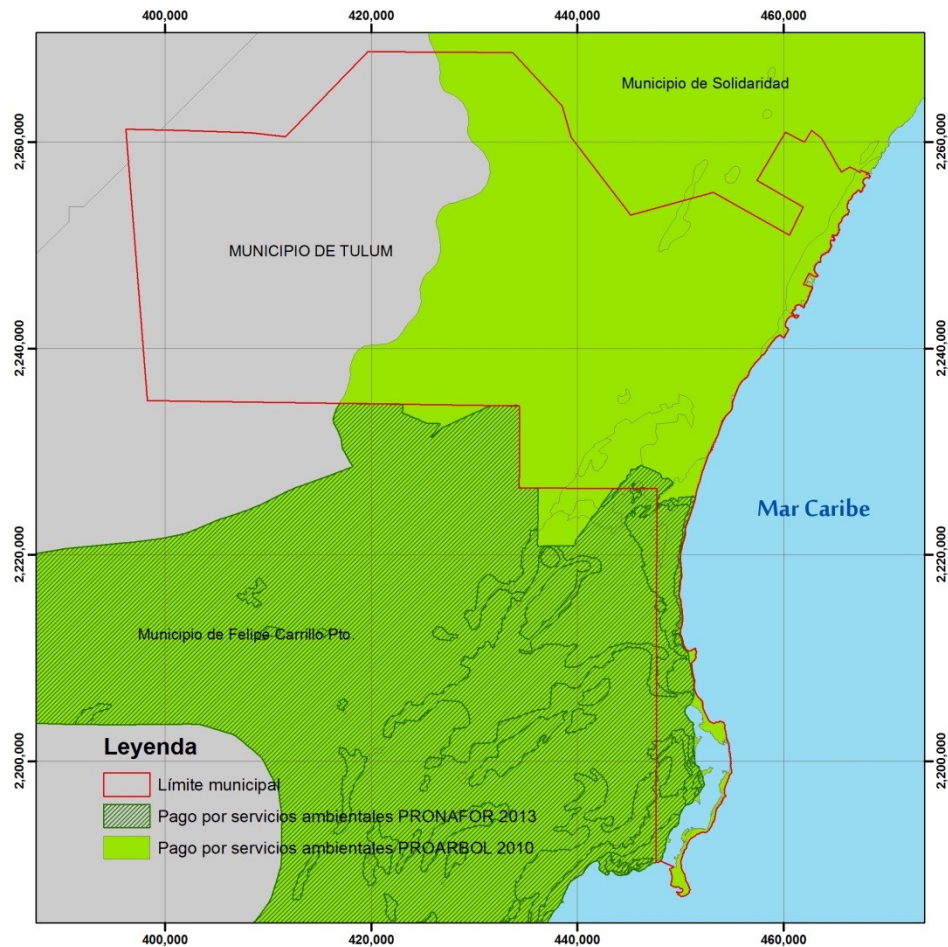


Figura 43. Coberturas PROARBOL 2010 - PRONAFOR 2013 para el componente servicios ambientales. El mapa la disminución en la superficie factible para acceder a los apoyos bajo el concepto de pago por servicios ambientales. FUENTE: Elaboración propia con base en las coberturas cartográficas (formato .shp) disponibles en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/tramites-y-servicios/apoyos-2013>

En la figura anterior también es posible apreciar que la única superficie factible para recibir apoyo por concepto de pago por servicios ambientales en el municipio de Tulum es la zona que se encuentra en la reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, sin embargo solo una pequeña porción de esta zona es superficie ejidal con facultad de acceder a dichos recursos.

V.2. TENDENCIAS DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL Y LAS DEMANDAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA, EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS.

V.2.1. Tendencias de crecimiento de la población.

El crecimiento de la población en el municipio de Tulum en este escenario se verá influenciado principalmente por el desarrollo del Aeropuerto Internacional de Tulum, este actúa como detonador para varias actividades, particularmente las comerciales, turísticas y las inmobiliarias. Por ello se estima que la población presentará un crecimiento igual al del escenario tendencial hasta el año 2017, cuando se estima que entre en operación el aeropuerto. La proyección del crecimiento poblacional hasta el año 2037 se muestra en la **Tabla 37**.

Tabla 37 –Estimación de la Población del Municipio Tulum. Se presentan los datos del escenario contextual para el crecimiento de la población de municipio.

MUNICIPIO TULUM			
AÑO	POBLACIÓ N	AÑO	POBLACIÓ N
2000	13,960	2019	74,807
2001	15,703	2020	81,203
2002	17,447	2021	87,935
2003	19,190	2022	95,015
2004	20,934	2023	102,446
2005	22,677	2024	110,233
2006	23,592	2025	118,383
2007	24,508	2026	126,907
2008	25,423	2027	135,811
2009	26,339	2028	145,103
2010	27,254	2029	154,851
2011	30,877	2030	164,882
2012	34,500	2031	175,196
2013	38,124	2032	185,793

2014	41,747	203 3	196,674
2015	45,370	203 4	207,839
2016	48,499	203 5	219,289
2017	57,354	203 6	231,024
2018	68,739	203 7	243,044

Fuente: Censo de Población 2000 y 2010, INEGI
 Censo de Población 2005, INEGI
 Estimación de las tasas de Crecimiento, COMUPO

En el caso de que se mantengan las proporciones de la distribución de la población, se tendría que para el año 2037 habría 186,560 habitantes en los centros urbanos, 25,303 habitantes en la zona rural y 4,182 en la colonia de pescadores. De esta manera se tendría una densidad poblacional de **1.19 habitantes por hectárea.**

V.2.2. Proyección de crecimiento de los centros urbanos

Con base en las tasas de crecimiento de los principales centros urbanos del municipio y con la consideración de los proyectos considerados se generó el escenario contextual para los principales centros de población, el resultado de esta proyección se presenta en la **Tabla 38.**

Tabla 38.- Tendencias de crecimiento del escenario contextual en los principales centros de población del municipio.

AÑO	TULUM	COBÁ	AKUMAL	CHEMUYIL
	Superficie en Hectáreas			
1976	45	4.72	—	—
1988	110.59	10.66	7.7	—
2000	202.71	28.93	10.49	8.49
2004	351.6	33.62	15.72	13.84
2006	447.8	50.87	19.09	14.18
2009	506.35	50.93	19.5	15.75
2012	621.96	62.34	22.15	16.98
2018	1132.19	112.9	35.19	24.55
2024	1,902.85	188.6	51.63	32.76
2030	3,148.82	310.3	74.58	43.06
2037	5,555.57	544.1	113.04	58.64

En este escenario la ciudad de Tulum alcanzaría una superficie urbana de 5,555.57 hectáreas con lo cual rebasa las expectativas del Plan Director de Desarrollo Urbano, Cobá incrementa notablemente su superficie hasta alcanzar 544.1 hectáreas lo que lo convierte en la segunda ciudad más importante del municipio. Las áreas urbanas alcanzan una superficie conjunta de 6,500 hectáreas.

Como se puede apreciar el impacto de los proyectos planteados como parte de este escenario producen un incremento en el crecimiento de los centros urbanos a partir del año 2018, (**Figura 44**)

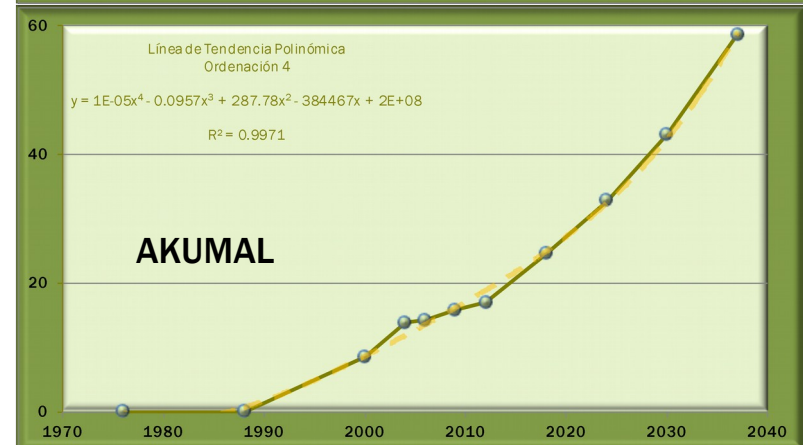
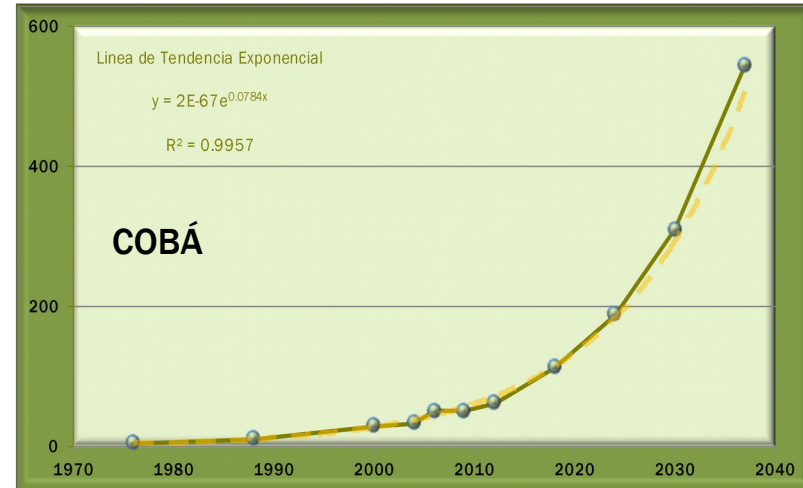
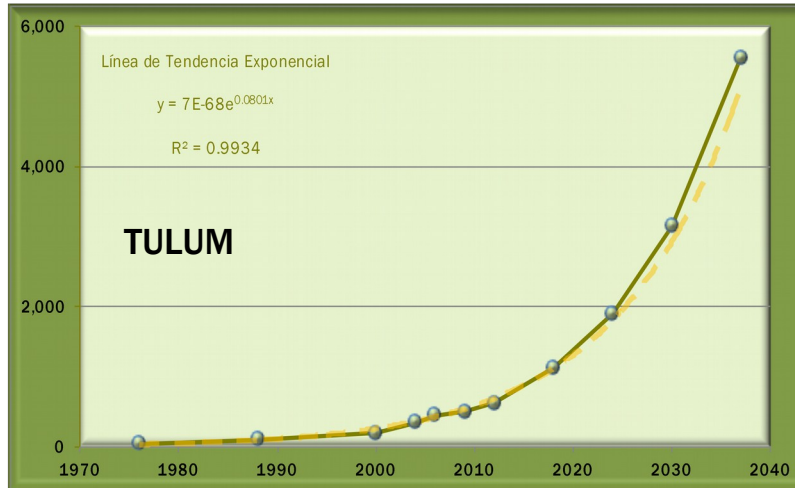


Figura 44. Tendencias de crecimiento al 2037.- Se muestran las tendencias de crecimiento de los cuatro centros urbanos, en cada grafica se incluyó la línea de tendencia que describe el crecimiento de las manchas urbanas, las formulas y el valor de R².

V.3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El análisis presentado en el escenario tendencial manifiesta que, de acuerdo con los modelos de circulación general de la atmósfera aplicados a una escala local, se presentará una disminución en la disponibilidad media natural de agua, hecho que permanece constante en el planteamiento de un escenario contextual, ya que tanto la gestión de políticas públicas adecuadas como la aplicación de diversas acciones de adaptación en una escala local no representan una modificación cuantificable de esta tendencia que pueda manifestarse a corto plazo en un ámbito global. Es otras palabras, los cambios locales, tanto positivos como negativos, no afectarán la tendencia global definida por los modelos de cambio climático al corto plazo, dado que éstos se plantean mediante diversos escenarios de crecimiento económico global. Por lo anterior, el análisis de cambio climático bajo un escenario contextual contempla las consecuencias que tendrá la aplicación de las planes, programas y proyectos de los tres órdenes de gobierno y la iniciativa privada en los factores que podrían aumentar los efectos negativos del cambio climático, sobre todo en lo referente a la presión de sobre el recurso agua.

Debido a que los incrementos de población contemplados implicarán una mayor demanda en el abastecimiento de agua potable, la presión sobre este recurso en un escenario contextual se prevé mayor que en un escenario tendencial, ya que la presencia de centros de población extensos incentiva el crecimiento exponencial, al mismo tiempo que la falta de instrumentos de planeación en la zona centro-norte del municipio propicia el surgimiento de fraccionamientos en terrenos ejidales, dicha situación puede derivar en la falta de capacidad en la cobertura de agua potable y problemas en la calidad de la misma por intrusión salina.

V.4. ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS

En el escenario contextual, el análisis de impactos cruzados se basó en las interacciones propuestas para el escenario tendencial, sin embargo a diferencia de éste último, se contempló un factor de presión externo que corresponde al efecto ocasionado por la ejecución de los planes y programas de los tres órdenes de gobierno, dicho factor representa una cuantificación de la presión que ejercen las políticas públicas y los esquemas de planeación descritos al inicio del apartado en el sistema socio-ambiental. De manera general se consideró que el conjunto de proyectos privados así como los programas de gobierno tienen un **efecto impulsor significativo** en el sector agrícola, ya que la diversidad de apoyos para la diversificación productiva como para la tecnificación son diversos y las localidades agrícolas del municipio cumplen con la mayoría de los requisitos marcados en los lineamientos y reglas de operación. Al igual el sector de la extracción puede manifestar un **efecto impulsor significativo** al existir siempre el capital privado dispuesta a invertir en este rubro así como programas específicos que otorgan apoyos a las comunidades rurales para favorecer la puesta en marcha de proyectos de extracción de materiales de diversa envergadura. Sin lugar a dudas los sectores que se verán mucho más beneficiados o impulsados con los esquemas considerados al inicio del presente apartado son el turismo convencional seguido del turismo alternativo, esto derivado del potencial turístico del municipio de Tulum así como la presencia de planes a nivel municipal y estatal que buscan impulsar esta actividad. Por otra parte sectores primarios como la apicultura y el sector forestal presentan una disminución en su impulso o promoción, ya que los programas federales que destinan fondos para el apoyo al manejo forestal maderable y no maderable, así como para el pago por servicios ambientales descartan al municipio de Tulum como zona prioritaria.

Como resultado de los argumentos anteriores se tiene que la tendencia bajo un escenario contextual señala un incremento del sector turismo convencional, turismo alternativo y la industria de la extracción. De forma contraria sectores primarios como el forestal y la apicultura reflejan tendencias negativas lo cual también deriva en una tendencia negativa en el sector conservación. Por otra parte, a pesar de que existe soporte tanto en programas federales como estatales para el sector agrícola, este muestra un ligero incremento que posteriormente se manifiesta en una tendencia negativa, esto debido a la influencia directa e indirecta del resto de los sectores, sobre todo los de mayor crecimiento. En la **Figura 45** se muestra de forma gráfica la tendencia de cada uno de los sectores presentes en el municipio de Tulum bajo un escenario contextual en el que se llevan a cabo los lineamientos establecidos en los planes, programas y proyectos de los tres órdenes de gobierno y la iniciativa privada. Cabe señalar que las unidades mostradas en la gráfica son unidades relativas, por lo que su única función es representar una tendencia probable basada las relaciones positivas o negativas que se llevan a cabo entre sectores.

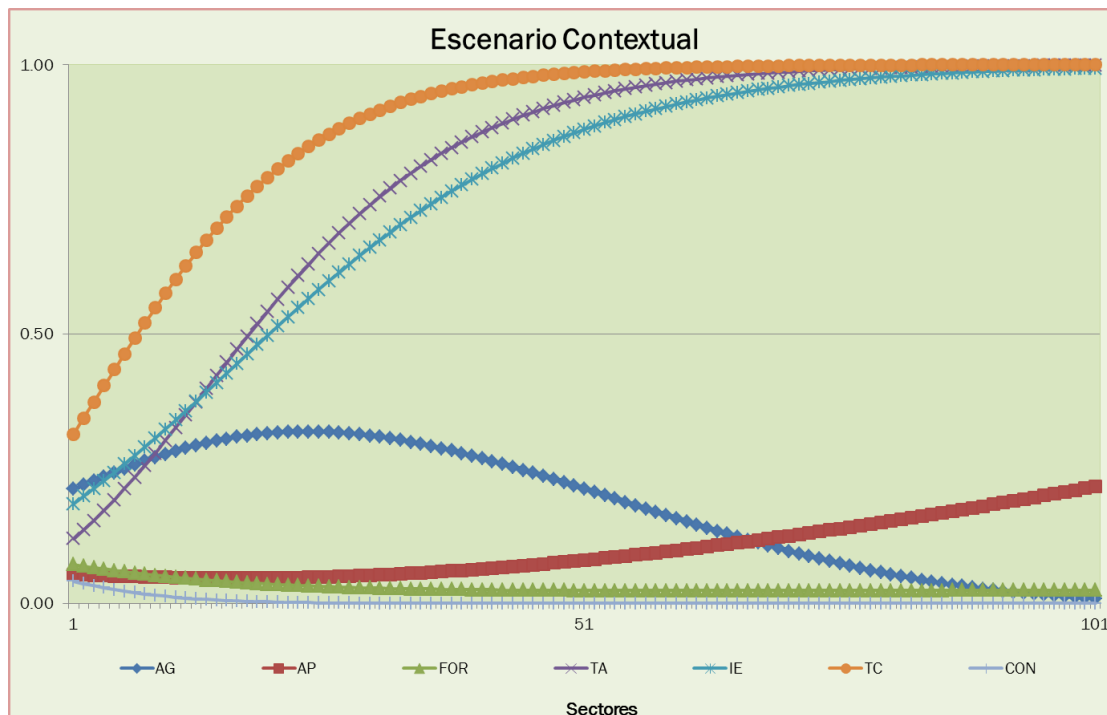


Figura 45. Resultados del análisis de impactos cruzado para el escenario tendencial. Se muestran las posibles tendencias de cada uno de los sectores analizados dada la ocurrencia de los planes, programas y proyectos contemplados por los diferentes órdenes de gobierno y la iniciativa privada.

Dadas las tendencias representadas en el gráfico anterior es posible concluir que este escenario no representa un esquema de desarrollo sustentable para el municipio de Tulum, puesto que no existe un balance en las líneas de acción entre los programas y planes que promueven las actividades económicas con aquellos que pudieran impulsar el mantenimiento de los ecosistemas, los recursos naturales y conservación de bienes y servicios ambientales. A pesar de la existencia de áreas naturales protegidas, estas se encuentran amenazadas por la falta de incentivos reales para la conversión de actividades económicas alternas de menor impacto. Por otra parte, ante el impulso de proyectos federales que impulsarán la movilidad tanto de personas como de productos en la Península de Yucatán, existe la necesidad de crear corredores biológicos que garanticen la continuidad del paisaje y los ecosistemas, evitando con ello la fragmentación de hábitats y la limitación del desplazamiento de fauna.

V.5. ESCENARIO ESTRATÉGICO

Para la integración de la imagen objetivo del municipio de Tulum que pudiera ser establecida como escenario estratégico, se llevó a cabo un taller participativo con los miembros del comité ejecutivo. En dicho taller se aplicó la metodología AHP con el fin de determinar la influencia relativa de los sectores en cada uno de los procesos de deterioro, y con ello generar la base para el análisis de impactos cruzados y de este modo tener una aproximación de la tendencia ideal o deseada. En el taller se llevó a cabo la integración de seis mesas de trabajo, procurando la distribución equitativa de los participantes (**Figura 46**). En cada una de las mesas fue nombrado un moderador cuya función sería facilitar la participación de todos los integrantes de la mesa durante el ejercicio, así como distribuir los tiempos y turnos en el uso de la palabra y generación de opiniones.



Figura 46. Taller de imagen objetivo. En el taller fueron integradas seis mesas de trabajo en las cuales se llevaron a cabo 3 ejercicios con el fin de integrar las tendencias ideales o deseadas para el municipio de Tulum.

Una vez establecido el moderador se procedió con la ejecución de tres ejercicios, el primero consistió en la integración de una matriz de comparación pareada (método AHP) para definir la importancia relativa de cada uno de los procesos de deterioro considerados en los escenarios anteriores, para ello cada mesa hizo su propia evaluación y los resultados fueron promediados con el fin de tener una valoración

única. **Tabla 39** señala los resultados obtenidos en la cada una de las mesas de trabajo, sin embargo en una de ellas no fue posible llegar a un consenso en este rubro por lo que el cálculo final se realizó únicamente con los valores del resto de las mesas.

Tabla 39. Resultados de la valoración de procesos de deterioro. Se presentan los resultados obtenidos en cada una de las mesas de trabajo y el resultado final derivado de las medias.

PROCESO	MESA 1	MESA 2	MESA 3	MESA 4	MESA 5	MESA 6	PROMEDIO
DBSA	0.177811	0.110611		0.249968	0.274919	0.071908	0.1770434
ECC	0.145015	0.03821		0.023378	0.05878	0.05303 3	0.063683 2
ECP	0.119522	0.34284 2		0.38908	0.299132	0.53029 3	0.3361738
EEP	0.024905	0.04954 8		0.041175	0.013605	0.018065	0.029459 6
IAA	0.36894 2	0.176188		0.20059	0.19186	0.100113	0.2075386
PCV	0.163805	0.28260 2		0.09580 8	0.161705	0.226587	0.1861014

El segundo ejercicio consistió en la evaluación de la influencia relativa de los sectores con respecto a cada uno de los procesos de deterioro, para lo cual, a cada una de las mesas le fue asignado al azar el proceso de deterioro con respecto al cual evaluarían a los sectores. En la **Tabla 40** se presentan los resultados obtenidos de este ejercicio, siendo la última columna el valor correspondiente a la influencia relativa de los sectores con respecto a todos los procesos de deterioro, valor obtenido a partir de la suma del producto de los valores de cada celda en la fila por el valor del encabezado de columna.

Tabla 40. Resultados de la valoración de procesos de deterioro. Se presentan los resultados obtenidos en cada una de las mesas de trabajo y el valor de influencia relativa final.

SECTOR	0.1770434	0.063683 2	0.3361738	0.029459 6	0.2075386	0.1861014	Influencia relativa
	DBSA	ECC	ECP	EEP	IAA	PCV	
AG	0.115009	0.133976	0.141944	0.293968	0.082911	0.414604	0.17963726
AP	0.020728	0.022214	0.251945	0.02021	0.030943	0.022169	0.10092465
CON	0.017177	0.023668	0.232606	0.022015	0.016362	0.016112	0.08978714
FOR	0.03965	0.051069	0.231107	0.05157	0.056973	0.075334	0.11532722
IE	0.270244	0.555935	0.014475	0.366623	0.147912	0.279185	0.18156949
TA	0.0331	0.028657	0.100606	0.062797	0.239763	0.041987	0.1009301
TC	0.504092	0.18448	0.027317	0.182817	0.425134	0.15061	0.23182386

En la **Figura 47** se muestran de forma gráfica los valores obtenidos en los ejercicios 1 y 2, es posible apreciar de forma más sencilla que los procesos de deterioro de mayor relevancia son: los efectos del crecimiento poblacional (ECP), los impactos

ambientales acumulativos, la pérdida de cobertura vegetal (PCV) y la degradación de bienes y servicios ambientales (DBSA). Del mismo modo es posible apreciar que los sectores con mayor influencia en los procesos de deterioro son el turismo convencional (TC), la industria de la extracción (IE) y la agricultura (AG).

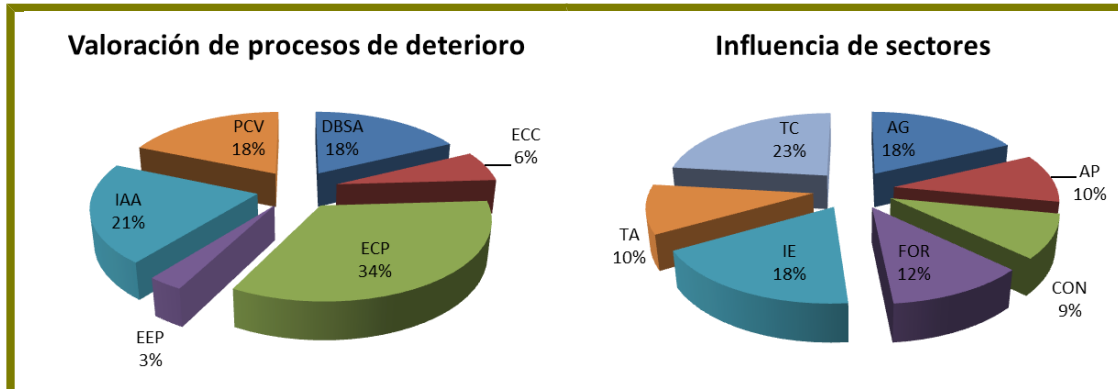


Figura 47. Resultados ejercicio 1 y 2 del taller participativo. Se muestran los resultados de los dos primeros ejercicios de forma gráfica.

El tercer ejercicio consistió en la elaboración de una matriz de impactos cruzados (**Figura 48**), para lo cual cada una de las mesas definió en primera instancia cuáles son las características que deben cumplir las actividades sectoriales para poder alcanzar un estatus sustentable. De esto modo cada una de las mesas definió las características deseables de los sectores bajo una lluvia de ideas la cual fue plasmada por escrito en común acuerdo, a continuación se describe de forma sintética las características de los sectores bajo un escenario estratégico de acuerdo con lo manifestado en el taller participativo:

- Agricultura

Fomento de la agricultura orgánica, impulso de la diversificación productiva a través del establecimiento de sistemas de producción hidropónicos, sistemas agroforestales de alta rentabilidad y bajo impacto, implementación de sistemas de cultivos biointensivos y permacultura, así como fortalecimiento la capacitación y la capacidad de gestión de las comunidades. Todo ello con el fin de incrementar la productividad agrícola en las comunidades mayas y disminuir la pérdida de cobertura vegetal e impactos negativos de dicho sector.

- Apicultura

Impulso de sistemas de producción de miel orgánica y fomento de la meliponicultura favoreciendo el uso de especies nativas, así como el rescate de la

apicultura tradicional en pro de la conservación del conocimiento etnobiológico de las comunidades mayas. Se incentiva este sector bajo esquemas de alianzas estratégicas con criterios de inversión bien definidos y un fomento de consumo al interior del municipio y Riviera Maya a través de la difusión cultural.

- Forestal

Establecimiento de un aprovechamiento forestal sustentable a través de la implementación de planes de manejo forestal maderable y no maderable, favoreciendo el aprovechamiento de especies nativas.

- Turismo alternativo

Impulso del turismo alternativo ambientalmente responsable a través de planes de manejo que permitan el aprovechamiento sustentable de los atractivos turísticos y culturales de la región, dando como resultado un bajo impacto ambiental y cultural que induce un involucramiento activo y socio-económicamente benéfico para las poblaciones locales. Promoción de actividades turísticas que contemplen el uso de energías alternativas, sistemas de captación de agua de lluvia, diversificación de oferta turística enfocada al turismo rural y la búsqueda de aumento del flujo de visitantes europeos.

- Extracción de materiales

Control de la extensión desmedida de explotación de bancos de material, a través del establecimiento límites de aprovechamiento en porcentajes de superficies y procurando su desarrollo únicamente en zonas sin vegetación con buen estado de conservación o de alto valor ecológico. Evitar el aprovechamiento por debajo del nivel freático e inclusive se propiciará el manteniendo de una capa de amortiguamiento para la protección del mismo. Asimismo, al final del ciclo de aprovechamiento se deberá rehabilitar la zona afectada o en caso de ser viable se promoverá su uso a través de proyectos sustentables.

- Turismo convencional

Disminución de impactos negativos de esta actividad a través de la regulación del establecimiento de nuevos proyectos, fomentando su instalación únicamente en las zonas factibles, en donde no se dañen ecosistemas de gran importancia ecológica. Se impulsarán proyectos que contemplen el uso de energías alternativas y sistemas de tratamiento de aguas residuales así como aquellos que se apeguen a los elementos paisajísticos y que incorporen prácticas sustentables como la reutilización del agua residual.

- Conservación

Incentivar el manejo y creación de áreas de conservación así como la apropiación de estas áreas por parte de las comunidades, de tal manera que se evite la fragmentación de los ecosistemas y que funcionen como corredores naturales. Se deberá garantizar la disponibilidad de agua de calidad para el abasto público a través de la delimitación de una zona de reserva hidrológica que además pueda funcionar como corredor biológico entre la zona norte y sur del municipio.

- Urbano

Direccionar adecuadamente el crecimiento urbano evitando su expansión hacia zonas en buen estado de conservación o que poseen elementos naturales de alto valor ecológico. Establecer la infraestructura que permita la recolección y tratamiento del 100% de las aguas residuales, así como la infraestructura que permita establecer una adecuada disposición de los residuos sólidos municipales. Fomentar un desarrollo habitacional concentrado definiendo un COS menor con una densidad mayor.



Figura 48. Taller de imagen objetivo. Participantes de la mesa 6 elaborando premisas base para el escenario estratégico.

V.5.1. ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS

Utilizando los argumentos anteriores como supuestos bajo los cuales se desarrollarán las actividades sectoriales, se procedió a la elaboración del análisis de impactos cruzados, en el cual fueron evaluados los efectos o consecuencias que tendría su aplicación en el desarrollo de los sectores. Esta evaluación se realizó en cada una de las mesas de trabajo, y por lo tanto, como paso final, se generó una matriz única de integración (**Tabla 41**), donde cada uno de los valores de las celdas que la componen corresponden a la media de los valores de las celdas homónimas en las matrices de impactos cruzados generadas en cada una de las mesas de trabajo.

Tabla 41. Matriz de impactos cruzados bajo un escenario estratégico. Las celdas contienen los valores medios de cada una de las matrices elaboradas en cada una de las mesas de trabajo durante el taller de imagen objetivo.

SECTOR	AG	AP	FOR	TA	IE	TC	CON
AG		2.17	0.67	1.67	-1.33	0.67	0.67
AP	2.00		1.50	1.33	-0.67	0.17	2.33
FOR	-1.17	1.33		0.67	-1.33	-0.33	1.83
TA	1.17	1.83	1.50		-1.17	-1.00	2.17
IE	-2.33	-1.67	-2.67	-1.00		-0.50	-2.67
TC	0.83	1.00	0.17	-0.33	0.00		-1.83
CON	0.67	2.83	2.33	3.67	-1.67	-0.17	

Las tendencias derivadas de las relaciones presentadas en la matriz anterior se muestran en la **Figura 49**. En dicha figura se define de forma gráfica la tendencia probable de los sectores una vez llevadas a cabo cada una de las consideraciones planteadas en el apartado anterior. La tendencia resultante refleja que existe un aumento de sectores primarios y la conservación si se modera o regula el desarrollo de los sectores turismo convencional y la extracción de materiales; por consiguiente, es posible la integración de un esquema de desarrollo sustentable en el municipio de Tulum si se lleva a cabo un adecuado impulso de actividades alternas al turismo convencional, así como la aplicación de tecnologías biointensivas en la agricultura y un manejo holístico con enfoque sistémico en los aprovechamientos forestales y apícolas.

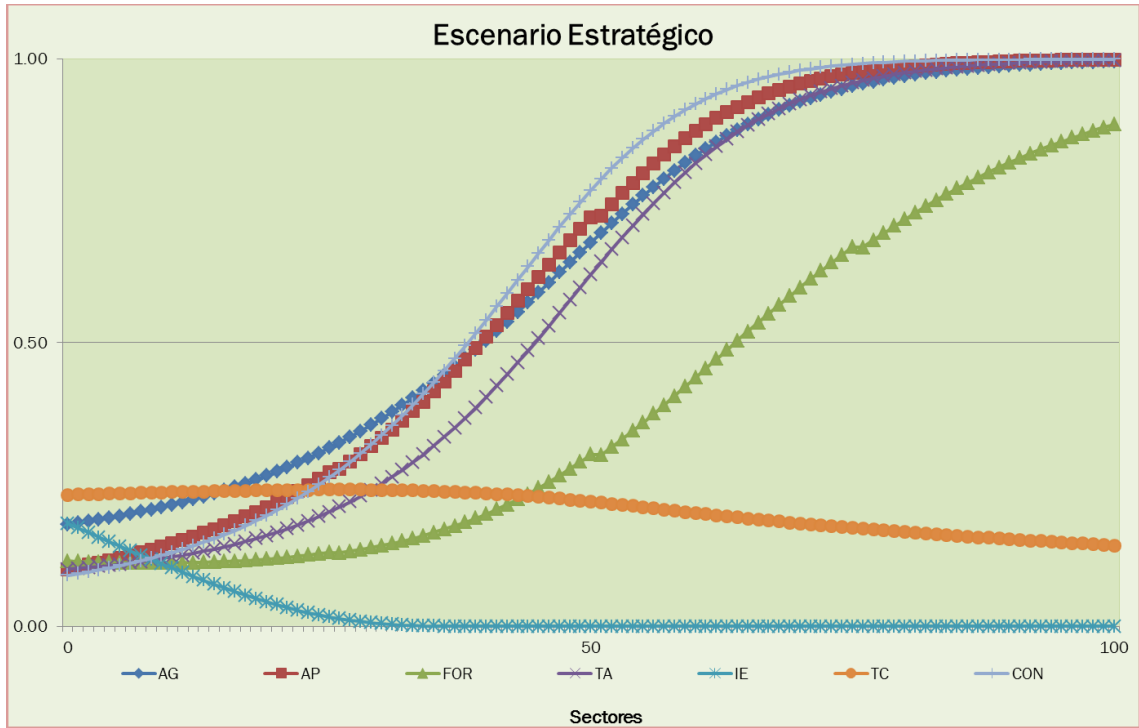


Figura 49. Resultados del análisis de impactos cruzado para el escenario estratégico. Se muestran las posibles tendencias de cada uno de los sectores analizados dada la ocurrencia de las actividades sectoriales en los términos definidos en el taller participativo.

En el Anexo 1 se presentan los formatos con los resultados del taller participativo para la elaboración de la imagen objetivo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Brinkman, R., Sombroek, W.G. 1996. The effects of global change on soil conditions in relation to plant growth and food production. In F. and W.G. Sombroek eds. *Global Climate Change and Agricultural Production*. Bazzaz FAO and Wiley, Chichester, UK. p 49-63.
- CONAGUA, 2007. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento, Datos Básicos*. Comisión Nacional del Agua, México.
- Conesa Fernández-Vítora, V., 1997. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 3ª. ed. Ediciones Mundi-Prensa. 412 p.
- Conesa Fernández-Vítora, V., 1997. *Los Instrumentos de la Gestión Ambiental en la Empresa*. Ediciones Mundi-Prensa. 541 p.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2008. Decreto número 007 por el que se crea el Municipio de Tulum, con cabecera municipal en la Ciudad de Tulum. *Periódico Oficial*, Tomo II, Número 50, Séptima Época. Publicado en Chetumal el 19 de mayo de 2008.
- Gómez Orea, D., 1999. *Evaluación del Impacto Ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Coedición Ediciones Multi-Prensa y Editorial Agrícola Española, S.A. 701 p.
- Gregory, P.J., Simmonds, L.P., Warren, G.P. 1998. Interactions between plant nutrients, water and carbon dioxide as factors limiting crop yields. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B*, 352: 987-996.
- Herrera, J. y Comín, F. 2000. "An introductory account of types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE México)", en Munawar M., S. Lawrence, I. y D. Malley (ed.). *Aquatic ecosystems of Mexico. Status and scope*. The Netherlands: Backhuys Publishers, 213-227.
- Holling, C. S. "Resilience and stability of ecological systems", *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, Núm. 4, 1973, pp.1-23.
- Holling, C. S. "Resilience of ecosystems: local surprise and global change", en Clark, W.C. y Munn, R. E. (eds), *Sustainable development of the biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986, pp. 292-213.

-
- Holling, C. S. "Simplifying the complex: the paradigms of ecological function and structure", *European Journal of Operational Research*, Núm. 30, 1987, pp.139-146.
- ICPP-WGI, 2007. Summary for Policymakers In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Zenhen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 23 pp.
- IMTA, 2006. Análisis de posibles impactos del cambio climático. Estudio de caso preliminar: Cancún, Quintana Roo
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestre - Categorías de Riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación, Segunda sección de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. 30 de Diciembre de 2010. México.
- Phillips, O.I., Malhi, V., Higuchi, N., Laurance, W.F., Nunez, P.V., Vasquez, R.M., Laurence, S.G., Ferreirer, L.V., Stern, M., Brown, S., Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science* 282: 439-442.
- Roberts, M. 2002.- Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Documento 96 de la Serie Informes sobre recursos mundiales de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Roma. 73 pp.
- Toledo A. 1998. *Economía de la Biodiversidad, Textos Básicos para la Formación Ambiental*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- Torres, O. 2006. Sistema Dos Ojos, *Revista Espacio Profundo*, número 88,