



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

“DISEÑO DEL PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO (PSD) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL, CAMPECHE”

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

AMBIENTAL - AIRE

P R E S E N T A

I.B.Q.AMBIENTAL MAGALY MISS ORTEGA

TUTOR:

DR. HUMBERTO BRAVO ÁLVAREZ



2010

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Pedro Martínez Pereda

Vocal: Dr. Humberto Bravo Álvarez

Secretario: Dr. Armando Aguilar Márquez

1er.suplente: Dr. Enrique César Valdéz

2º.suplente: M.I. Vicente Fuentes Gea

LUGAR DONDE SE REALIZA LA TESIS:

Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias
de la Atmósfera, Universidad Autónoma de México

TUTOR DE TESIS

Dr. Humberto Bravo Álvarez

FIRMA

DEDICATORIA

A mis padres:

María Guadalupe Ortega Sánchez y Francisco Javier Miss González, por guiarme acompañarme en mi camino por la vida, por el amor, el cariño, su comprensión, sus cuidados y su motivación, por su suavidad y dureza al hablarme y ayudarme a ser una mejor persona.

A mis hermanos:

Manuel Miss Ortega y Javier Miss Ortega

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor:

Dr. Humberto Bravo Álvarez, por aceptar ser mi tutor de tesis y compartir su conocimientos.

A mis compañeros y amigos

*Miguel Ángel Parra Burgos, Iris Cureño Gonzales, Adrián Marín,
Nicolás Coordero y Eloina Félix Cañedo*

A mis Tías

*Azucena Ortega Sánchez, Gloria Belmont Bravo y María Teresa Ortega Sánchez,
por apoyarme durante mi estancia en la Ciudad de México.*

A mi comité tutorial

*Dr. Pedro Martínez Pereda, Dr. Armando Aguilar Márquez,
Dr. Enrique César Valdés y M.I. Vicente Fuentes Gea*

Al Centro de Investigación en Corrosión:

*Dr. Javier Reyes Trujeque, por impulsar y apoyarme
a realizar mis estudios de Posgrado*

Centro de Ciencias de la Atmosfera

*Dr. Rodolfo Sosa Echeverría, por su apoyo y conocimientos adquiridos durante mis
estudios de maestría*

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

ÍNDICE GENERAL

Abreviaturas, acrónimos y siglas	4
Índice de tablas	5
Índice de Figuras	7
RESUMEN	8
1.-INTRODUCCIÓN	10
2.-ANTECEDENTES	13
2.1 RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL (RBC)	14
2.1.1 Características del medio físico, biológico y socioeconómico de la RBC	16
a) Medio Físico.....	16
Clima.....	16
Suelo.....	17
Uso de suelo.....	18
Relieve.....	19
Fisiografía.....	20
Geología.....	20
Hidrología.....	20
b) Medio biótico.....	22
Flora.....	22
Fauna.....	22
c) Medio socio-económico.....	23
Población.....	23
Distribución de la población y localidades.....	23
Estructura productiva.....	25
Problemática de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche.....	26
2.1.2 Fuentes de contaminación	27
a) Fuentes fijas	29
b) Fuentes móviles.....	31
2.2.- PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO SIGNIFICATIVO (PDS)	32
2.2.1 Requerimientos para la aplicabilidad del PDS.....	33
2.2.2 Clasificación actual de las áreas para aplicación del PDS.....	33
2.3.-PROGRAMAS Y PLANES RELACIONADOS CON EL SITIO DE ESTUDIO	34
2.3.1 Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (PMRB)	
a) Zonas Núcleo Sur y Zona Núcleo Norte).....	34
b) Zona de Amortiguamiento.....	35
2.3.2 Planeación para la conservación de Calakmul-Balan Kin- Balan-Ku.....	36
2.3.3 Ordenamiento del territorio del Municipio de Calakmul, Campeche.....	36

2.4. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	37
2.4.1 Listas de chequeo o verificación.....	38
2.4.2 Matrices.....	39
2.4.3 Índice e indicadores ambientales.....	39
2.4.4 Método de Batelle Columbus.....	42
2.4.5 Funciones de transformación	42
2.4.6 Cartografía o superposición de mapas.....	42
2.5.-LEGISLACIÓN.....	43
2.5.1 Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.....	43
2.5.2 Reglamentos de la LGEEPA.....	44
2.5.3 Normas Oficiales Mexicanas.....	45
2.5.3.1 Aire.....	46
2.5.3.2 Agua.....	46
2.5.3.3 Suelo.....	46
2.5.3.4 Flora y Fauna.....	46
2.5.3.5 Residuos.....	47
3.- METODOLOGIA.....	48
3.1 DELIMITACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	51
3.2 ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL.....	52
3.2.1 Recopilación bibliográfica.....	52
3.2.2 Descripción ambiental de las características de la RBC.....	52
3.2.3 Identificación de fuentes de contaminación y análisis de la problemática de la RBC.....	52
3.2.3.1 Estudio demográfico.....	52
3.2.3.2 Identificación de impactos ambientales.....	52
3.2.3.2.1 Elaboración del árbol de factores.....	52
3.2.3.2.2 Elaboración del árbol de acciones.....	53
3.2.3.2.3 Aplicación de la matriz de Leopold.....	53
3.3 DISEÑO DEL PROGRAMA.....	55
3.3.1 Determinación de los alcances	55
3.3.2 Criterios para la aplicabilidad del programa.....	55
3.3.3 Requerimientos para la aplicación de la metodología.....	55
3.3.4 Identificación de clases dentro de la RBC según su calidad ambiental.....	55
3.3.5 Selección e importancia de los componentes e indicadores ambientales	56

3.3.6 Índice de calidad ambiental.....	64
3.3.6.1 Método de Battelle Columbus.....	65
3.3.6.2 Aplicación de funciones de Transformación.....	67
3.3.7 Incrementos permitidos del PDS.....	69
3.3.8 Recomendación de medidas de mitigación y prevención.....	70

4.-DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.1.- ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LA RBC..... 72

4.1.1 Estudio demográfico	72
4.1.2 Identificación de impactos ambientales.....	74
4.1.2.1 Árbol de factores.....	74
4.1.2.2 Árbol de acciones.....	75
4.1.2.3 Impactos ambientales identificados.....	78
4.1.2.4 Descripción de los impactos identificados.....	79

4.2.- PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL..... 84

4.2.1.-Introducción.....	85
4.2.2- Meta.....	85
4.2.3 Alcances.....	85
4.2.4 Criterios para la aplicabilidad el programa	86
4.2.5 Clasificación de la RBC según su calidad ambiental.....	86
4.2.6 Aplicación del Método de Battelle Columbus modificado.....	87
4.2.7 Funciones de transformación (Gráficas de calidad ambiental).....	87
4.2.8 Índice de calidad ambiental.....	98
4.2.9 Incrementos permitidos.....	100
4.2.10 Procedimiento para la aplicación del PDS.....	101
a) Un análisis de evaluación de la calidad ambiental.....	102
b.1 Aire.....	103
b.2 Agua.....	107
b.3 Suelo.....	109
b.4 Flora y fauna.....	113
b.5 Residuos.....	119
c) Medidas de mitigación y prevención.....	124

5.- CONCLUSIONES..... 131

6.- RECOMENDACIONES..... 133

BIBLIOGRAFÍA..... 134

GLOSARIO DE TÉRMINOS..... 140

ANEXOS..... 143

Abreviaturas, Acrónimos y siglas

ANP´s	Áreas naturales protegidas
BACT	Mejor Tecnología de Control Disponible
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
EIA	Evaluación de impacto ambiental
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
GEF	Global Environmental Facility
ICA	Índice de calidad del agua
INEM	Inventario Nacional de Emisiones
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente
MER	Método de evaluación de riesgo de extinción
Msnm	metros sobre el nivel del mar
µm	micras
NAAQS	Estándares basados en salud de Calidad de Aire Ambiental Nacional
Na₂SO₄	Sulfato de Sodio
NO₂	Bióxido de nitrógeno
NO_x	Óxidos de nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
O₃	Ozono
ORAQI	Oak Ridge Air Quality Index
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
PST	Partículas Suspendedas Totales
Pb	Plomo
PM	Partículas
PM₁₀	Partículas menos a 10 µm
PM_{2.5}	Partículas menores a 2.5 µm
PMRBC	Plan de manejo en la Reserva de la Biosfera de Calakmul
PSD	Programa para la Prevención del Deterioro Significativo
RBC	Reserva de la Biosfera de Calakmul
SIG	Sistema de información Geográfica
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México
SLAMS	Network Design for State and Local Air Monitoring Stations
SO₂	Bióxido de azufre
UMA´s	Unidades de Manejo de la Vida Silvestre
UIA	Unidad de Impacto Ambiental
US-EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ubicación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche.....	15
Figura 2.2	Mapa edafológico del Municipio de Calakmul (Fuente: ECOSUR, 2007).....	18
Figura 2.3	Mapa tipo de uso de suelo del municipio de Calakmul (Fuente: ECOSUR, 2007).....	19
Figura 2.4	Mapa Hidrogeología de la Reserva de la Biosfera de Calakmul.....	21
Figura 2.5	Principales localidades dentro de la Reserva de la Biosfera (Fuente: García, 2000).....	24
Figura 2.6	Ejidios ubicados dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul.....	25
Figura 2.7	Mapa de Organización Espacial Actual del Municipio de Calakmul (Fuente: ECOSUR, 2007).....	28
Figura 2.8	Emisiones de Del Estado de Campeche y Municipio de Calakmul (Fuente: INEM, 1999)	29
Figura 2.9	Ubicación de los Basureros a cielo abierto.....	30
Figura 2.10	Composición promedio de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Calakmul, Campeche.....	31
Figura 2.11	Zonificación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul.....	35
Figura 3.1	Metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental.....	49
Figura 3.2	Metodología.....	50
Figura 3.3	Ubicación del Área de Estudio Reserva de la Biosfera de Calakmul.....	51
Figura 3.4	Ejemplo de la identificación de impactos ambientales (Matriz de Leopold).....	54
Figura 3.5	Proyección de la población de 2005 a 2010	64
Figura 3.6	Método de Batelle Colombus Modificado.....	66
Figura 3.7	Ejemplo de aplicación de una función de transformación.....	68
Figura 4.1	Localidades dentro de la RBC (Fuente: Censo de población y vivienda 1990).....	73
Figura 4.2	Ubicación de localidades dentro de la RBC (Fuente: Censo general de población y vivienda 2000).....	73
Figura 4.3	Ubicación de localidades dentro de la RBC (Fuente: Censo general de población y vivienda 2005).....	73
Figura 4.4	Vías de acceso no planificados.....	80
Figura 4.5	a) Letrinas b) disposición inadecuado de residuos sólidos municipales.....	80
Figura 4.6	Extracción forestal.....	81
Figura 4.7	Cuerpos temporales de agua superficial.....	82
Figura 4.8	Grafica de calidad ambiental Dióxido de azufre (SO ₂).....	87
Figura 4.9	Gráfica de calidad ambiental Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5}).....	88
Figura 4.10	Gráfica de calidad ambiental Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	88
Figura 4.11	Grafica de calidad ambiental Monóxido de carbono (CO).....	89
Figura 4.12	Gráfica de calidad ambiental Ozono (O ₃).....	89

Figura 4.13	Gráfica de calidad ambiental Potencial de hidrógeno (pH)....	90
Figura 4.14	Gráfica de calidad ambiental Temperatura (T°C).....	90
Figura 4.15	Gráfica de calidad ambiental Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	91
Figura 4.16	Gráfica de calidad ambiental Fósforo Total.....	91
Figura 4.17	Gráfica de calidad ambiental Nitrógeno Total.....	92
Figura 4.18	Gráfica de calidad ambiental Coliformes totales.....	92
Figura 4.19	Gráfica de calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Ligera	93
Figura 4.20	Gráfica de calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Media.	93
Figura 4.21	Gráfica de calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Pesada	94
Figura 4.22	Gráfica de calidad ambiental Plaguicidas (Aldrin, Dieldrin, Clordano).....	94
Figura 4.23	Gráfica de calidad ambiental Plaguicidas (Paracuat, DDT)...	95
Figura 4.24	Gráfica de calidad ambiental Flora	95
Figura 4.25	Gráfica de calidad ambiental Fauna.....	96
Figura 4.26	Gráfica de calidad ambiental Residuos.....	96
Figura 4.27	Gráfica de calidad ambiental Población.....	97
Figura 4.28	Pasos para el desarrollo de un programa de monitoreo ambiental (Fuente: WHO, 1997)	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Criterios considerados por la UNESCO para designar una zona como Patrimonio Cultural.....	16
Tabla 2.2	Tendencia del crecimiento poblacional 2005- 2030.....	23
Tabla 2.3	Incrementos en el PSD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	34
Tabla 2.4	Metodologías para la evaluación de impacto ambiental.....	38
Tabla 2.5	Normas Oficiales Mexicanas calidad de aire.....	45
Tabla 2.6	Visibilidad.....	46
Tabla 2.7	Normas Oficiales mexicanas.....	47
Tabla 3.1	Indicadores Ambientales establecidos	56
Tabla 3.2	Aire- Límites máximos permisibles.....	58
Tabla 3.3	Visibilidad.....	59
Tabla 3.4	Agua- Límites máximos permisibles (NOM-001-SEMARNAT-1996).....	60
Tabla 3.5	Suelo Límites máximos permisibles (NOM-138-SEMARNAT/ SS-2003).....	62
Tabla 3.6	Suelo- Límites admisibles (FAO, 2000).....	62
Tabla 3.7	Generación de Residuos y cobertura del servicio de limpia por municipio.....	63
Tabla 3.8	Niveles de información progresiva.....	65
Tabla 3.9	Medidas ambientales.....	69
Tabla 4.1	Árbol de factores ambientales.....	74
Tabla 4.2	Árbol de Acciones	75
Tabla 4.3	Matriz de impactos ambientales (Matriz de Leopold modificada).	79
Tabla 4.4	Coefficientes de ponderación por indicador.....	99
Tabla 4.5	Escala de clasificación de la calidad ambiental.....	99
Tabla 4.6	Incrementos permitidos.....	100
Tabla 4.7	Medidas de mitigación.....	125

RESUMEN

La Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC), localizada en el sureste del estado de Campeche, México, es una zona de importancia natural y cultural, cuya calidad ambiental se presume aún no ha sido altera, además de albergar una de las zonas arqueológicas más importantes de la cultura maya, denominada Calakmul, y considerada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO desde el 2002. Debido al crecimiento actual de la población y al incremento de las actividades productivas de la zona, es necesario prevenir el deterioro ambiental, definido como un aumento en la concentración de contaminantes permitidos, o bien un incremento sobre concentraciones determinadas para un sitio.

En el presente trabajo, se diseñó un programa de prevención del deterioro ambiental significativo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, que incluye los componentes agua, aire, suelo, flora, fauna y residuos para el cual se tomó como punto de partida la metodología del Programa para la Prevención del Deterioro Significativo establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Prevention of Significant Deterioration-EPA*), el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul y la aplicación de metodologías para Evaluación de impacto ambiental como métodos de Battelle Columbus, Matriz de Leopold, índice e indicadores ambientales.

Para diseñar el programa se realizó el análisis de la información bibliográfica y del entorno de la Reserva de la Biosfera de Calakmul e identificación de los impactos ambientales mediante la Matriz de Leopold modificada. Se identificaron un total de 35 impactos en la RBC, 31 son negativos y 4 son positivos. Se observó que las principales acciones que originan los impactos ambientales identificados en la zona son la construcción de vías de acceso no planificado, agricultura, ganadería, pastoreo, quemas no planificadas, usos de plaguicidas, disposición de residuos y descargas de aguas residuales.

El Programa para la prevención del Deterioro Ambiental Significativo de la Reserva de la Biosfera, está integrado por: meta, alcances, criterios para la

aplicabilidad, clasificación de áreas dentro de la RBC, incrementos permitidos, gráficas de calidad ambiental, índice de calidad ambiental, metodología para aplicar el programa, y medidas de mitigación y prevención por actividades productivas.

De manera que mediante el establecimiento de incrementos permitidos en el PSD y la aplicación del índice de calidad ambiental se admite un incremento en la concentración de los contaminantes en un espacio determinando para impedir que la calidad ambiental en zonas limpias se deteriore a un nivel superior al establecido en las normas oficiales mexicanas o legislación aplicable en materia de contaminación ambiental.

Con la aplicación del programa se busca asegura un enfoque no sólo en la calidad de un componente sino un enfoque integral que considere los elementos ambientales susceptibles de ser afectados o que originan la disminución de la calidad ambiental.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.-INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población, la rápida deforestación para actividades de agricultura o ganadería, la falta de estrategias de planeación y de manejo, así como el desconocimiento de valor ambiental y socioeconómico en México, han provocado severos problemas de contaminación e impactos ambientales negativos, así como la pérdida de valiosos recursos naturales y culturales en el país y en algunos países Latinoamericanos. Esta situación ha determinado la necesidad de incorporar la variable ambiental, criterios orientados hacia la planificación y el desarrollo sustentable, con el fin de hacer compatibles la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales con el desarrollo.

El reto es mayor cuando se trata de proteger regiones de importancia natural y cultural en nuestro país, en las cuales se presume la calidad ambiental no ha sido alterada, como es la Reserva de la Biosfera de Calakmul localizada en el sureste del estado de Campeche; además de su riqueza biológica, dicha reserva contiene numerosos sitios arqueológicos de la cultura maya, destacando Calakmul, una zona arqueológica considerada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO desde el 2002. No obstante la influencia humana, tanto histórica como contemporánea, la región de Calakmul contiene una de las extensiones de selva más amplias y en mejor estado de conservación de la República Mexicana. Además de su localización estratégica en el esquema de conservación, Calakmul es adyacente a la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala y mantiene conectividad con la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an en Quintana Roo (Martínez, et al., 2002).

Considerando que en nuestro país en general y en el estado de Campeche en particular no se han realizado proyectos de este tipo, que pueden ser aplicados a zonas con valor ecológico y cultural como también lo son las áreas Naturales Protegidas que existen México, se tomará como punto de partida el Programa para la Prevención del Deterioro Significativo conocido por sus siglas en inglés PSD, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de

América (US-EPA), metodología que se puede aplicar a cualquier región en donde los niveles de calidad del aire no rebasen las normas correspondientes. De manera que se pueden proteger aquellas áreas en las que aún no se presenten problemas de contaminación tomando las medidas necesarias a través de la aplicación de programas similares al PSD.

Por lo anterior se diseñó un programa con un enfoque no sólo en la calidad del aire, sino con un enfoque integral que considere los factores ambientales relevantes; se le denominara “Programa para la prevención del deterioro ambiental significativo” y tendrá como meta permitir el crecimiento urbano-industrial planeado, manteniendo los niveles de calidad ambiental deseada en el área a proteger.

META

Diseñar un Programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo, que permita mantener los niveles de calidad ambiental adecuados, minimizar y evitar cualquier impacto negativo por el desarrollo urbano-industrial esperado en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México.

OBJETIVOS

- Describir las características generales del medio físico, biológico y socioeconómico del área.
- Identificar la problemática ambiental del área de estudio
- Investigar casos de Programas de Prevención de Deterioro Ambiental Significativo elaborados en otros países.
- Proponer un programa para la prevención del deterioro ambiental significativo (PSD) que considere de manera integral las condiciones de área de estudio.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.-ANTECEDENTES

2.1 RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL (RBC)

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 3, define a las áreas naturales protegidas (ANP's) “como zonas del territorio nacional sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas”.

En dichas áreas se tiene como objetivo preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas; Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva; así como asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial; asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos; proporcionar un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio; generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional; proteger poblados, vías de comunicación, instalaciones industriales y aprovechamientos agrícolas, mediante zonas forestales en montañas donde se originen torrentes; el ciclo hidrológico de cuencas, así como las demás que tiendan a la protección de elementos circundantes con los que se relacione ecológicamente el área; y proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacionales y de los pueblos indígenas (Art. 45 LGEEPA).

La Reserva de la Biosfera de Calakmul, fue designada como Área Natural protegida por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) el 23

de mayo de 1989, se localiza en el municipio de Calakmul, en el estado de Campeche, México. Comprende una extensión total de 723,185-12-50 ha, cuenta con dos zonas núcleo, que en su conjunto comprenden un área total de 248,260-50-00; y una zona de amortiguamiento de 474,924-62-50 ha. La figura 2.1 muestra la localización de la RBC.

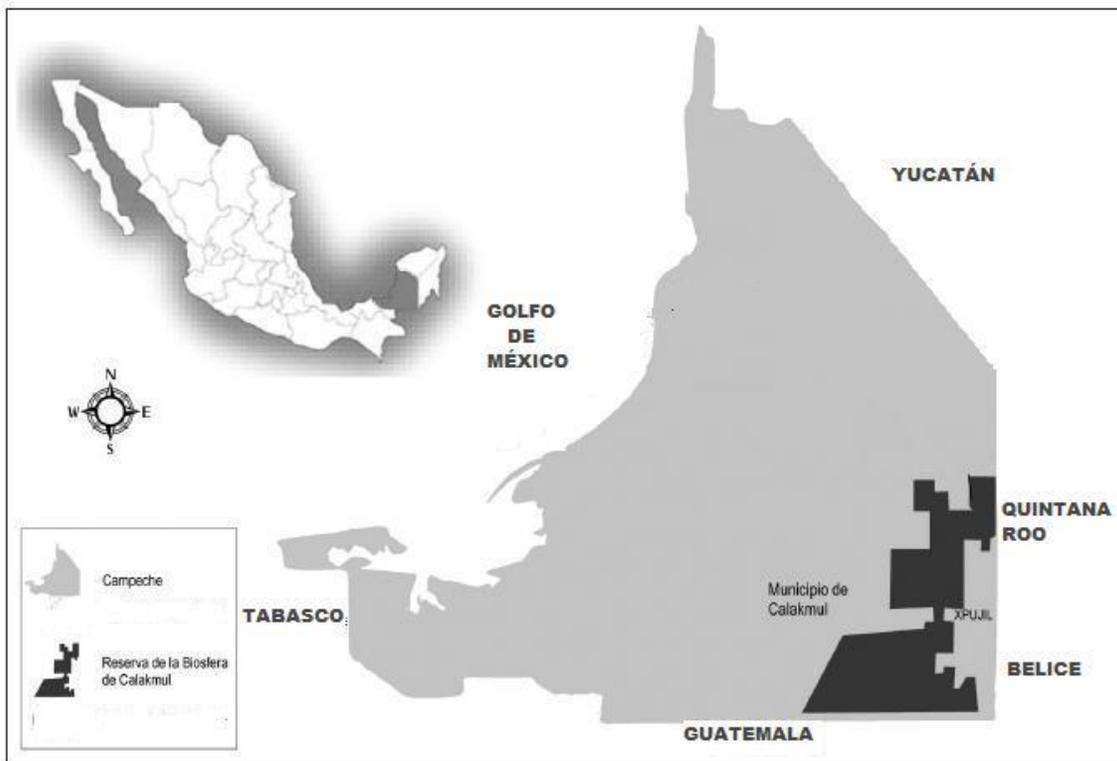


Figura 2.1 Ubicación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche

En 1993 la RBC ingresó a la Red Internacional del Hombre y la Biosfera de la UNESCO; está incluida dentro del Programa de Conservación de la Biodiversidad de Áreas Protegidas Selectas de México, y es financiada por el GEF (Global Environmental Facility) del Banco Mundial (SEMARNAT, 2000; Ucán, *et al.*, 1999).

Parte de la importancia natural y cultural, de la RBC radica en que dentro de ella se encuentra una zona arqueológica importante para la cultura maya denominada Calakmul, cuyo designación por parte de la UNESCO en 2002 como Patrimonio Cultural de la Humanidad ha repercutido positivamente en la región

con el incremento de visitas de turistas nacionales y extranjeros.

La RBC representa uno de los agrupamientos de unidades prehispánicas más sobresalientes del país, comprende al mayor centro urbano del área maya durante el periodo Clásico (250 al 900 d.C). La RBC y su zona de influencia contienen aproximadamente 525 sitios arqueológicos, algunos con sus propios textos dinásticos todavía desconocidos. Por lo tanto, los sistemas productivos deben adecuarse a las condiciones ambientales y socioeconómicas de la región, e incorporar innovaciones tecnológicas para promover la reconversión hacia mejores prácticas, tomando como orientación los criterios de sustentabilidad en los espacios previstos en el Ordenamiento Territorial establecido para el Municipio de Calakmul, Campeche. La tabla 2.1 describe los criterios considerados por la UNESCO para designar como patrimonio cultural a la zona arqueológica de Calakmul.

Tabla 2.1 Criterios considerados por la UNESCO para designar una zona como Patrimonio Cultural

I.	Representar una obra maestra del genio creativo del hombre.
II.	Ser la manifestación de un intercambio de influencias considerable, durante un periodo determinado o un área cultural específica, en el desarrollo de la arquitectura o de la tecnología, la planificación urbana o el diseño prehispánico.
III.	Representar un testimonio único, o por lo menos excepcional, de una tradición cultural o de una civilización aún viva o desaparecida.
IV.	Ser un ejemplo sobresaliente de un tipo de construcción, de un conjunto arquitectónico, tecnológico o de paisaje, que ilustre una o más etapas significativas de la historia de la humanidad.

Fuente: UNESCO, 2005

2.1.1 Características del medio físico, biológico y socioeconómico de la RBC

a) Medio Físico

Clima

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1973), la región presenta una relativa homogeneidad climática, caracterizada por la presencia de clima tropical lluvioso cálido (Aw), con lluvias en verano, cuyas precipitaciones fluctúan entre los 1,000 y 1,300 mm anuales, con una media

anual de 25 mm.

La temperatura media anual en las selvas de Calakmul es de 22 a 26 °C; la precipitación media anual oscila entre 1200 y 1500mm en el centro y aumenta gradualmente la humedad al sur en donde oscila entre 1500 y 2000mm. La estación lluviosa presenta dos períodos de menor precipitación entre febrero y junio y entre julio y agosto, en donde se presentan de 15 a 20 días de canícula (Gtz, 2005; García, *et al.*, 2002; Gun, *et al.*, 1999).

Suelo

En el área de la Reserva de la Biosfera de Calakmul existen complejos de suelos del tipo de los vertisoles y gleysoles sobre relieves de valles y depresiones inundadas o inundables; esta asociación ocupa una superficie de 126 000 ha (17.5%) de la reserva que corresponde a selvas bajas subperennifolias y selvas bajas inundables (García, *et al.*, 2002; Morales-Rosas, 1999).

También en los relieves evolucionan suelos jóvenes del tipo de los litosoles, los que se caracterizan por su escasa profundidad, alta pedregosidad e influencia del material parental. Dichos suelos junto con las rendzinas ocupan una superficie aproximada de 596 000 ha (82.5%) de la RBC (García, *et al.*, 2002). Figura 2.2.

Los suelos vertisoles, son más o menos profundos (hasta 85 cm), arcillosos, asociados a los sitios topográficos de planicie y hondonada, de drenaje lento, que puede provocar una deficiente aireación de la raíces de la plantas cultivadas. Al perder la humedad pierden también esta última característica presentándose duros, agrietados y con cuarteaduras.

Los gleysoles, están asociados a los sitios topográficos de hondonada o donde se acumula y estanca el agua al menos en la época de lluvias, además de ser profundos son de drenaje lento, lo que permite el mantenimiento de humedad residual al término de las lluvias de verano, lo cual combinado con otros factores climáticos (gran humedad relativa y lluvias esporádicas) posibilitan el

establecimiento de cultivos de invierno.

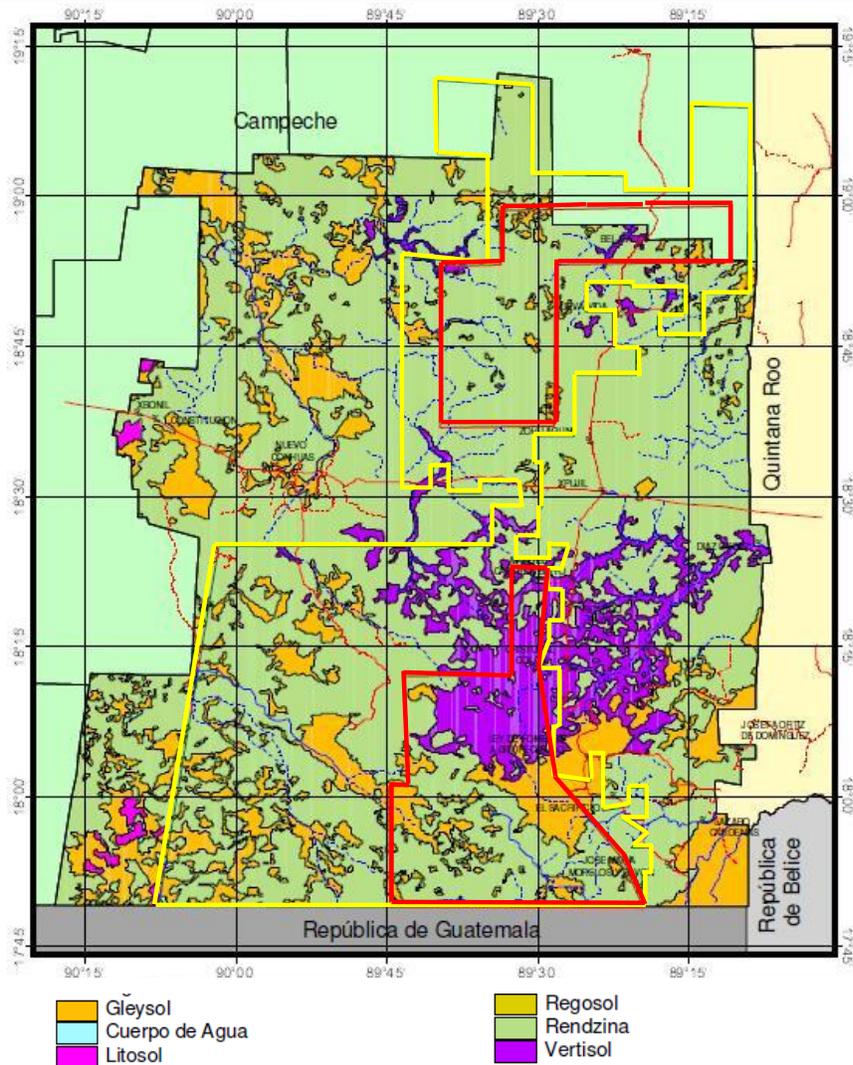


Figura 2.2 Mapa edafológico del Municipio de Calakmul (Fuente: ECOSUR, 2007)

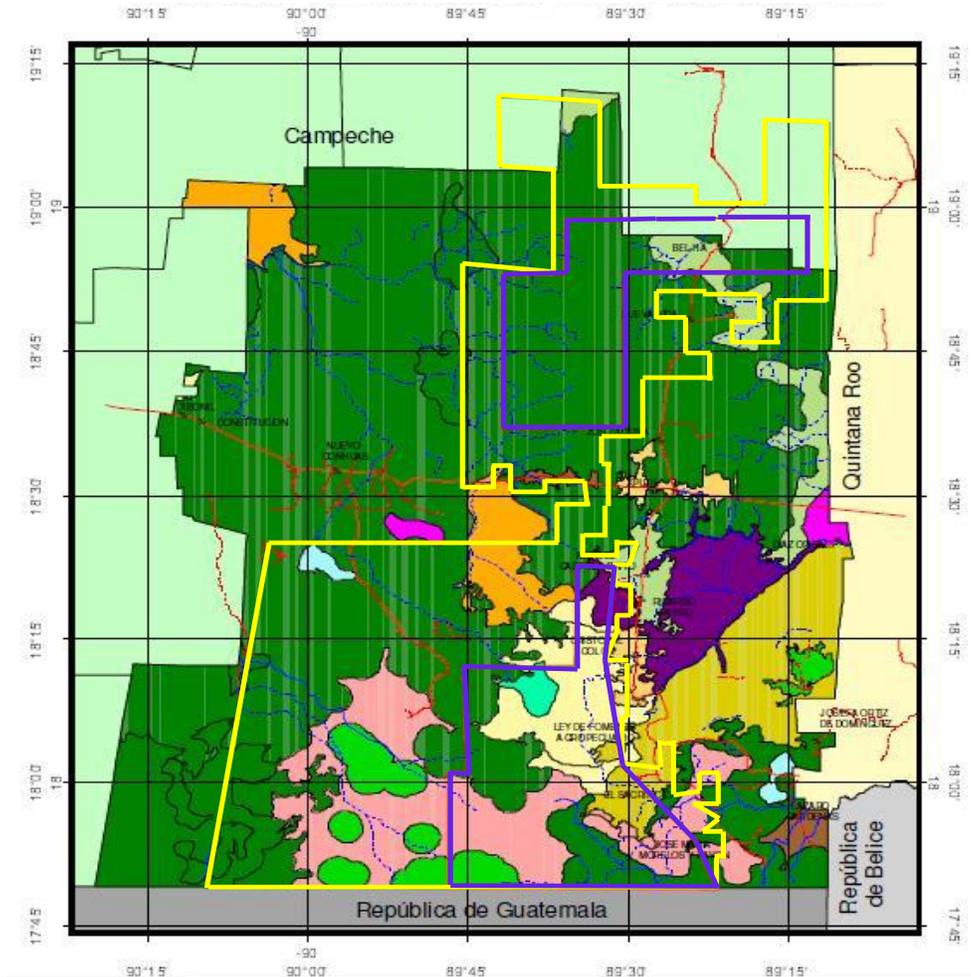
Uso de suelo

Los tipos de uso de suelo actuales dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, son los propuestos en el ordenamiento del territorio para el municipio del mismo nombre, que corresponden a Reforestación con fines de rehabilitación Ambiental, Agricultura de riego, Manejo Forestal maderable, Manejo Forestal No maderable Apicultura, Agricultura de riego, Labores de investigación y Monitoreo Ambiental, Reforestación con fines de rehabilitación Ambiental, Sistemas de agrosilvopastoreo con manejo de acahual, Turismo y ecoturismo, unidades de

manejo de vida Silvestres. Figura 2.3.



Figura 2.3 Mapa tipo de uso de suelo del municipio de Calakmul (Fuente: ECOSUR, 2007)



Relieve

La RBC se ubica sobre un relieve formado por ondulaciones y cerros aplanados, de declives suaves. Las lomas tienen una altura que oscila entre 20 y 60 metros que contrastan con las planadas y bajos inundables. En general, el relieve está constituido por gruesas formaciones calizas cubiertas por delgados suelos. Esta característica compartida con la Península de Yucatán hace que se presenten procesos de formación kárstica. La altura máxima y mínima oscila entre 380 y 100 msnm. La región es atravesada por una cadena de pequeñas elevaciones que reciben el nombre de Meseta Baja de Zoh-Laguna (Pool *et. al.*, 2002).

Fisiografía

La RBC se encuentra en la parte alta de la península de Yucatán, alcanzando elevaciones de más de 300 m sobre el nivel del mar hasta una altitud máxima de más de 380m en la parte abrupta del sureste de dicha reserva. Esta zona no es

tan solo la parte más alta, sino que presenta una mayor madurez en características de drenaje, sin embargo, el drenaje es subterráneo en su totalidad, excepto durante tormentas e inundaciones, originando corrientes temporales (Gates, 1999).

Geología

La RBC está constituida por gruesas formaciones de rocas de carbonato de calcio cubiertas por varios metros de caliche y suelos delgados que contienen materia orgánica, presentando en su mayoría rocas sedimentarias de tipo lacustre y caliza (INEGI, 1999). Algo muy característico, es el proceso primario que actúa sobre los materiales superficiales y subterráneos que consiste en la disolución del carbonato de calcio por filtraciones del agua de las lluvias; iones de calcio y bicarbonato son transportados en solución por el agua en la superficie del suelo desplazándose relativamente rápido a través de canales subterráneos.

Hidrología

La hidrografía de la superficie en la RBC está determinada por la cantidad y distribución de la precipitación pluvial, la evapotranspiración de la vegetación y el drenaje superficial. Los torrentes de la lluvia pueden ser lo suficientemente intensos como para transportar agua temporalmente en canales de corriente superficial.

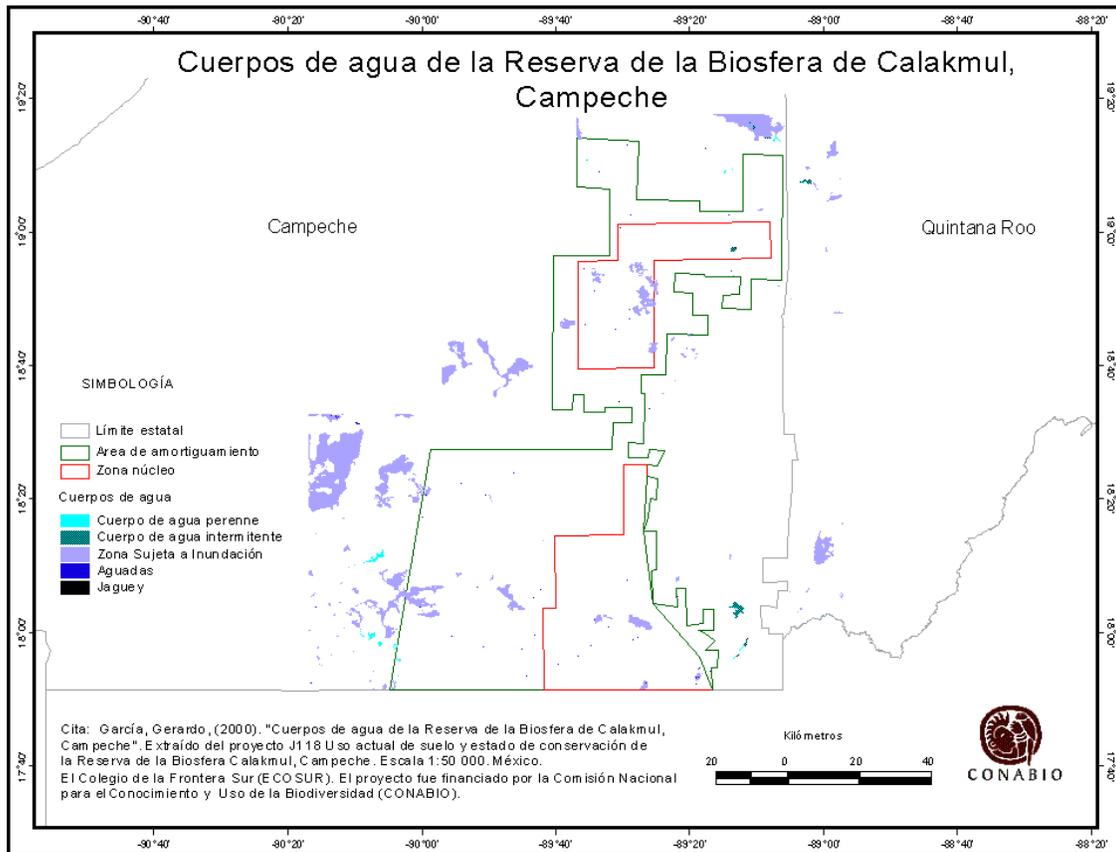
Debido a las características particulares de la zona los cuerpos de agua superficial que presentan son escasos, únicamente se forman cuerpos de agua conocidos como aguadas que consisten en áreas permanentemente inundadas que se forman con la acumulación del agua de lluvia en superficies de permeabilidad nula, también existen áreas de inundación temporal, las cuales se forman en superficies de baja permeabilidad (INEGI, 1989 Carta Hidrológica de aguas subterráneas, Carta Hidrológica de aguas superficiales). En la parte norte del área hay un mayor número de aguadas, pero la mayoría de éstas son temporales y tienen menor extensión. Por otro lado, la parte sur tiene un menor número de aguadas aunque la mayoría son permanentes, sin embargo, se tiene el

registro que la Reserva de la Biosfera Calakmul únicamente existen alrededor de 868 aguadas al norte y 485 al sur (García, *et al.*, 2002).

La calidad del agua para consumo humano en la región es considerada mala, debido al exceso de sulfato de calcio, que la hacen no apta para consumo humano, de tal forma, que las fuentes disponibles para consumo son aguas pluviales almacenadas en cisternas o aguadas. Considerando la permeabilidad de las rocas en Calakmul se pueden distinguir tres tipos de superficies: superficies de permeabilidad nula (acumulación permanente), superficies de permeabilidad baja y superficies de permeabilidad alta (García, *et al.*, 2002). Figura 2.4.

Figura 2.4 Mapa Hidrogeología de la Reserva de la Biosfera de Calakmul

b) Medio biótico



Flora

De acuerdo con el plan de manejo en la Reserva de la Biosfera de Calakmul (PMRBC) se presentan 11 agrupaciones de las 26 agrupaciones que componen la base fisonómica florística empleada por Miranda (1964). De manera general la RBC presenta características geológicas climáticas, edáficas particulares conformando una mezcla de selvas altas y medianas con selvas bajas temporalmente inundables y vegetación acuática, de la cual existe cierta similitud con otras áreas geográficas vecinas con el Petén y zonas de Guatemala y Belice.

Entre las principales agrupaciones que se presentan en la RBC tenemos: aguadas, agrupaciones de hidrófilas, selva alta perennifolia y subperennifolia, selva mediana subperennifolia, selva baja subperennifolia inundable, selva baja subperennifolia, vegetación secundaria y cultivos agrícolas.

Es muy importante considerar que selvas de Calakmul han sido impactadas en los últimos años por un proceso de colonización humana y la sustitución de la vegetación derivada de las actividades agropecuarias (Pat, 2000; García y Pat, 2001).

Fauna

La reserva se encuentra en una de las regiones más ricas en diversidad de especies en México. Entre las especies de vertebrados se han registrado 17 especies de anfibios, 43 de reptiles, 235 de aves y 94 especies de mamíferos. Entre las taxas identificadas con alguna categoría de riesgo existen: 2 especies de reptiles, 12 de aves y 1 de mamíferos (amenazadas); 3 de aves y 7 de mamíferos en peligro de extinción; 3 especies de reptiles, 3 de aves y 1 de mamíferos bajo protección especial; y 3 especies de aves y 6 de mamíferos consideradas como raras (PROSURESTE, 2006). Entre las especies más representativas se encuentran: *Panthera onca* (jaguar), *Leopardus pardalis* (ocelote), *Leopardus wiedii* (tigrillo) *Herpailurus yagouaroundi* (jaguarundi), *Alouatta palliata* (mono aullador), *Tapirus bairdii* (Tapir), *Tamandua mexicana* (oso hormiguero), *Amazona autumnalis* (loro de cara amarilla).

c) Medio socio-económico

Población

Actualmente se tiene una tasa bruta de natalidad de 26.5 y la tasa de mortalidad es de 0.7 anual (CONAPO, 2005) estima que en los próximos 25 años los habitantes en la zona llegarán a más de 50,000 personas (Tabla 2.2). El patrón de distribución de la población en el municipio es de tipo Disperso, con una gran cantidad de localidades menores a 500 habitantes, tendiendo a un esquema centralizado hacia la cabecera Municipal Xpujil que tiene una tasa de crecimiento anual superior al 9% .

Tabla 2.2 Tendencia del crecimiento poblacional 2005- 2030

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
México	106451679	111613906	116344933	120639160	124329639	127205586
Campeche	775765	837593	897771	955823	1009538	1056688
Calakmul	29256	34673	40298	46058	51752	57164

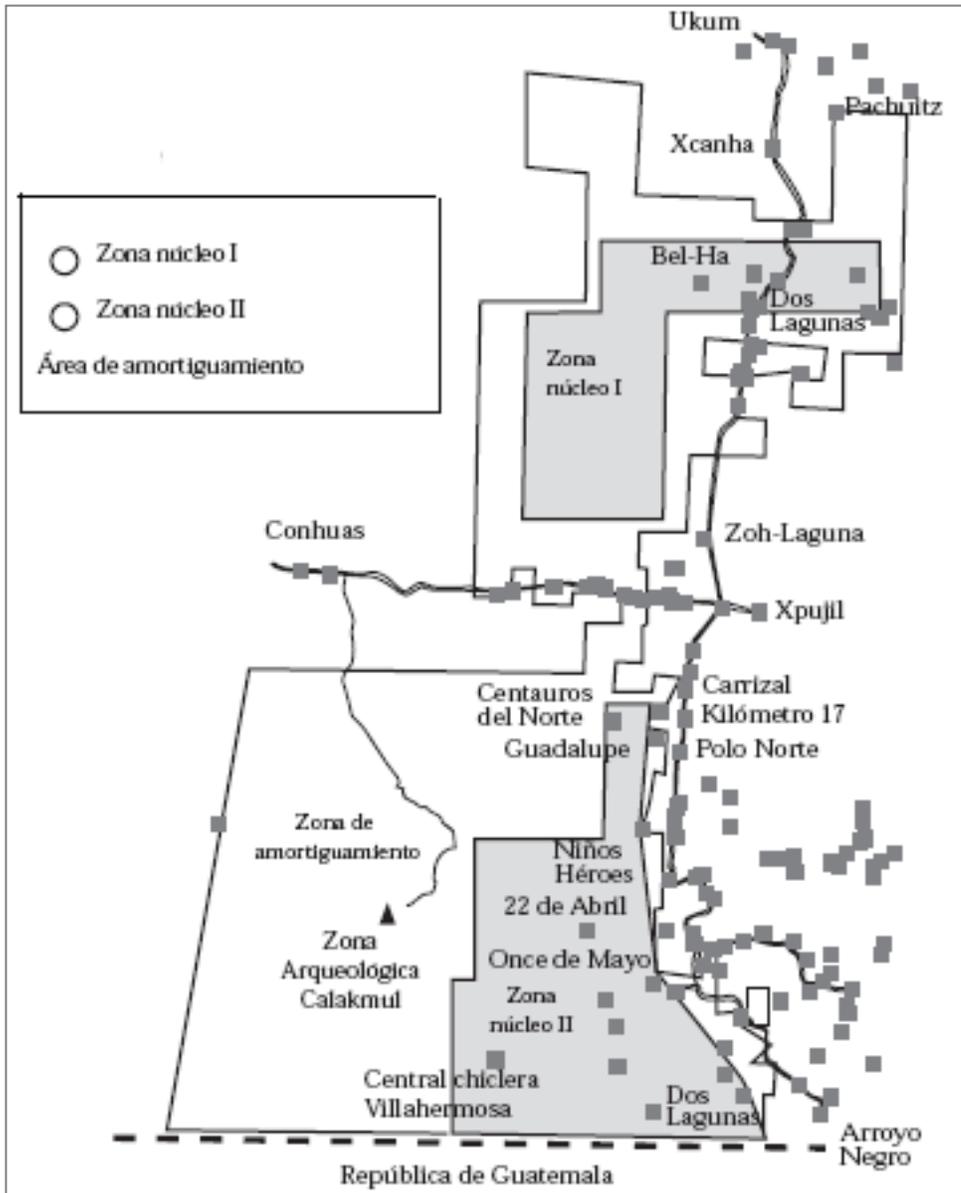
Fuente: PROSURESTE, 2005 Fuente: CONAPO, 2005

Distribución de la población y localidades

La dinámica de población de la región de la reserva, es quizá uno de los factores más importantes dentro de la problemática actual de esta área protegida. Debido a la estrecha relación entre el comportamiento estatal poblacional y el patrón de asentamientos humanos dentro y alrededor de la reserva (INEGI, 1990).

Para el año de 1995, se detectaron por lo menos 72 ejidos, ranchos y rancherías en y alrededor de la RBC. Teniendo en cuenta el número de ejidos, la población asciende a 23,740 habitantes de los cuales la quinta parte (4784 habitantes) habita dentro de la RBC, una cuarta parte 5035 corresponde a los habitantes que viven alrededor de la Reserva, pero cuyas ampliaciones forestales está ubicadas dentro de la RBC y un poco más de la mitad (13,390) viven alrededor de la RBC (Sánchez, 1999). En el año 2000, las principales localidades dentro y en las

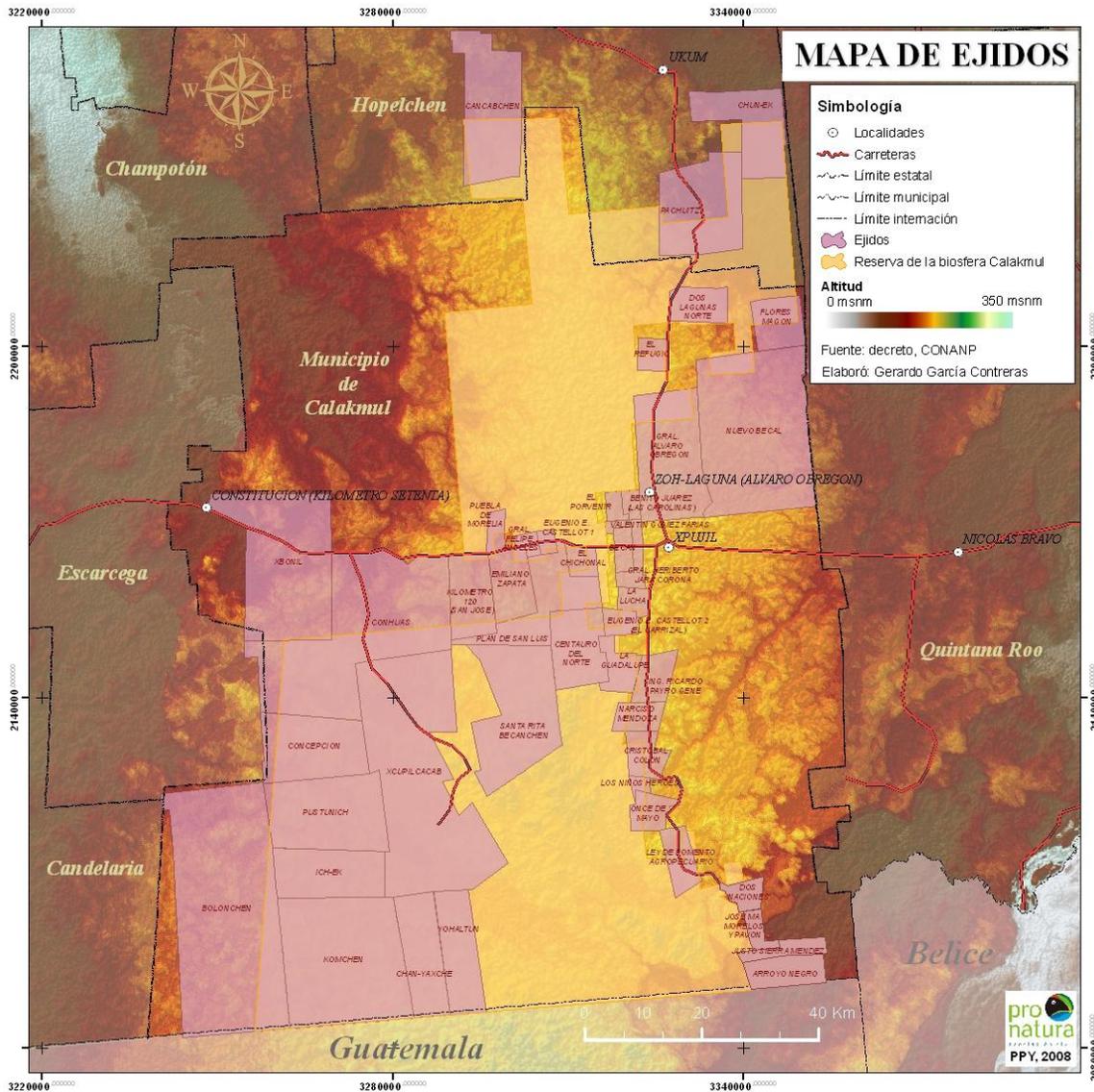
inmediaciones del polígono de la RBC eran las que se muestran en la figura 2.5 y en el 2009 el número de localidades se incrementó como se observa en la figura 2.6.



Figura

2.5 Principales localidades dentro de la Reserva de la Biosfera (Fuente: García, 2000).

Figura 2.6 Ejidos ubicados dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul en el año 2009



A diferencia de otras áreas naturales protegidas, las Reservas incluyen poblaciones humanas en sus zonas de amortiguamiento en donde las actividades productivas deben ser ecológicamente sostenibles para lograr el objetivo central de conservación. En las zonas núcleo de las Reservas no se permiten actividades de desarrollo. Esta estrategia pretende que mediante el adecuado uso de los recursos se proteja la biodiversidad y que los habitantes de la región se beneficien de la protección que se brinda a los ecosistemas.

Estructura productiva

En el municipio existe una economía campesina de subsistencia; cada vez más unidades de producción se incorporan a una economía de mercado, diversificando las actividades y especializando zonas, lo cual contribuye a una discreta estratificación económica. La ganadería es la principal actividad económica de la región, esta actividad, de acuerdo a datos del censo económico de 1999, ocupaba el primer lugar dentro del PIB municipal.

La segunda actividad comercial es el cultivo de chile jalapeño, cultivándose una superficie aproximada de más de 3,000 hectáreas, principalmente en la zona sur del municipio. Otras actividades son la producción de miel que ocurre en la zona del centro y norte de Calakmul, el cultivo de maíz se realiza en superficies pequeñas y dispersas.

Debido a la escasez de agua y de suelo, las actividades agrícolas y ganaderas no son muy productivas y por el contrario causan fuertes perturbaciones en los ecosistemas naturales. Las selvas de la región de Calakmul proporcionan una gran variedad de productos forestales maderables y no maderables a las comunidades locales (Ericson 1996, Ericson y Maas 1998).

La producción primaria se complementa con los productos forestales, destacan los aprovechamientos de maderas preciosas, maderas corrientes tropicales y chicle. También se han establecido en diversos ejidos, Unidades de Manejo de la Vida Silvestre (UMAS). Algunas actividades están sufriendo cambios profundos y acelerados, tal es el caso de la prestación de servicios turísticos, habiéndose establecido un circuito desde Xpujil a Conhuás, donde se encuentra la entrada al sitio arqueológico de Calakmul.

Problemática de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche

Actualmente, el Estado de Campeche es uno de los estados de la República menos poblado pero con crecimiento poblacional más rápido (Villagómez, *et al.*

2008). Sin embargo, en los últimos cuarenta años, la población se quintuplicó y en los últimos veinte se duplicó (Ericson, 1996; Galindo- Leal, 1997).

Entre los principales fenómenos naturales que han modificado las características de la RBC de forma natural son huracanes, incendios y sequías, por otro lado los factores antropogénicos que incrementan este proceso son principalmente la gran cantidad de quemas no planificadas realizadas para favorecer las prácticas agrícolas, aunado a las condiciones atmosféricas predominantes, como las sequías prolongadas, el intenso calor y los vientos fuertes que propician mayores riesgos de incendios forestales; asentamientos irregulares dentro de los límites de las zonas núcleo de la reserva; el tráfico ilegal de especies de flora y fauna silvestre; saqueo de productos maderables y no maderables, así como la cacería furtiva, deportiva y de subsistencia sin regulación.

El crecimiento demográfico acelerado, las condiciones de pobreza extrema, el desempleo, la falta de servicios, la construcción de vías de acceso no planificadas, falta de recursos económicos y humanos para atender las demandas; y la falta de proyectos sustentables que beneficien a la población, la deforestación y el acelerado proceso de cambio de uso del suelo, la indefinición de la tenencia de la tierra, la aplicación del marco legal ambiental, así como diferentes conflictos políticos y sociales han obstaculizado el adecuado trabajo de las comunidades y el desarrollo de acciones institucionales (Martínez, *et al.*, 2002; PRONATURA, 2005).

La RBC ubicada en el centro de la Península de Yucatán se considera de suma importancia por contener el área forestal más extensa del trópico húmedo mexicano (Martínez-Galindo, 2002), por lo es importante conocer la organización espacial actual del municipio. La figura 2.7 muestra la organización espacial actual que corresponden a la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

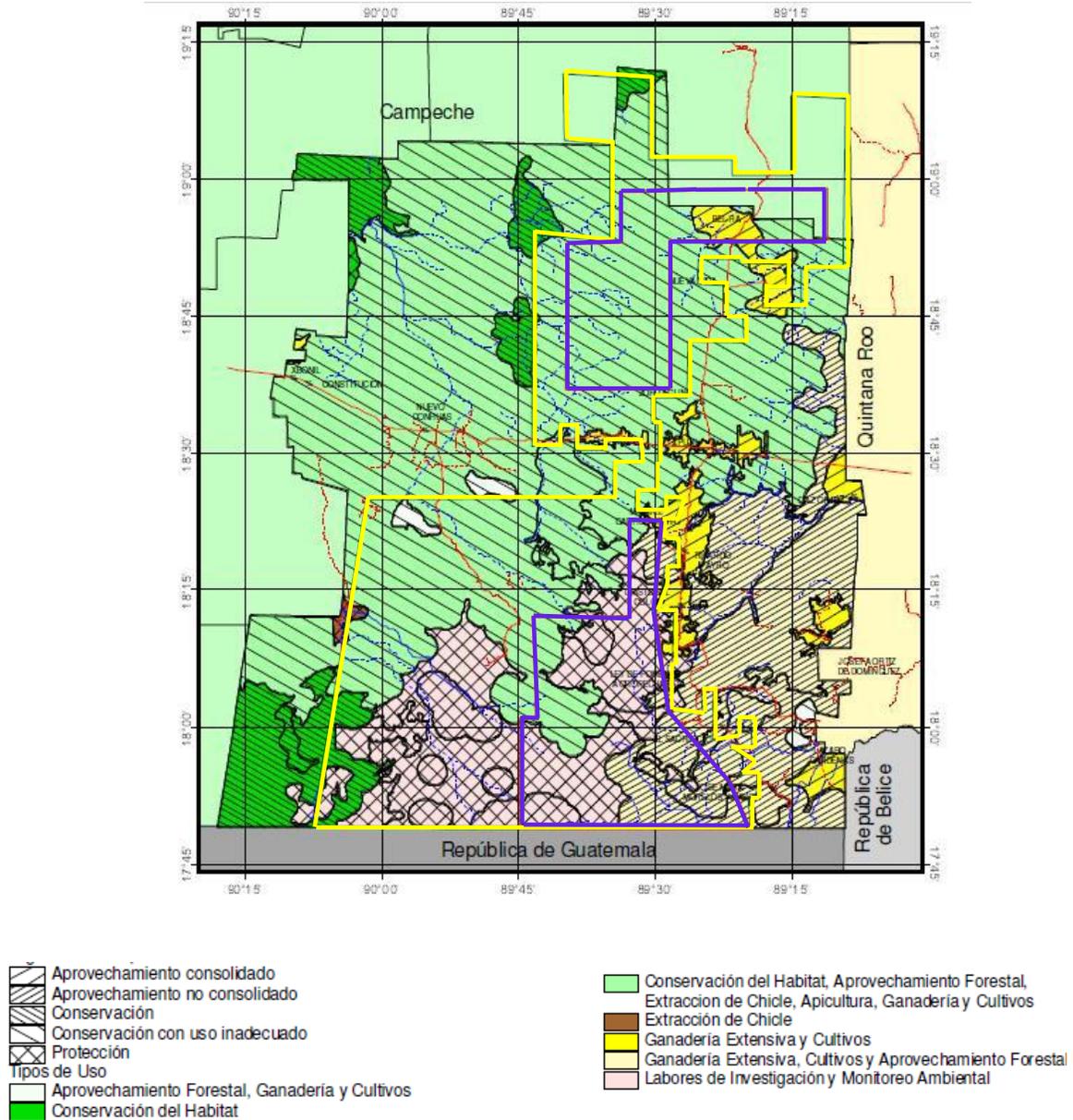


Figura 2.7 Mapa de Organización Espacial Actual del Municipio de Calakmul
(Fuente: ECOSUR, 2007)

2.1.2 Fuentes de contaminación

La Reserva de la Biosfera de Calakmul aún no presenta desarrollo industrial o turístico intensivo, sin embargo, se encontró información en el inventario nacional de emisiones de México 1999 (INEM), en el plan de manejo de la RBC y

en el ordenamiento del municipio de Calakmul, entre otros.

El inventario nacional de emisiones de México 1999 proporciona un listado de la cantidad de contaminantes de todas las fuentes de emisión (fijas, de área, vehículos automotores, móviles y naturales), que son liberados a la atmósfera durante un período de tiempo determinado.

Las emisiones del Estado de Campeche y sus municipios, no incluyen fuentes naturales y se usaron factores de emisión para estimar las emisiones de la mayoría de los establecimientos de jurisdicción estatal, en la siguiente grafica (Figura 2.8) se puede observar que las emisiones para el municipio de Calakmul representan menos del 5% de las emisiones del estado.

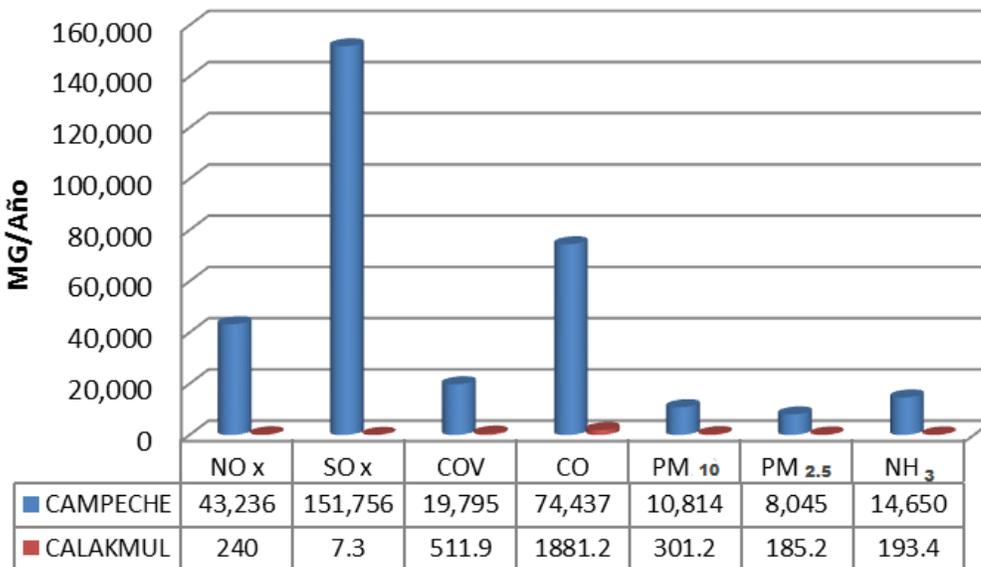


Figura 2.8 Emisiones de Del Estado de Campeche y Municipio de Calakmul (Fuente: INEM, 1999)

Las principales fuentes que contribuyen a la contaminación del suelo, agua y aire en la zona de la Reserva de la Biosfera de Calakmul se describen a continuación.

a) Fuentes fijas

Hospitales

La atención médica que se presta a la población del municipio de Calakmul está integrada por 17 unidades médicas distribuidas en el municipio.

Actividades productivas

La zona en donde se localiza la RBC, tiene como base el aprovechamiento forestal, es una de las principales actividades extractivas de la región de Calakmul; agricultura; ganadería: producción de miel; extracción de chicle; cacería de subsistencia: actividad que tradicionalmente abasteció de alimento a los primeros pobladores mayas, pero la presión sobre los animales silvestres y los recursos forestales ha ido en aumento, lo cual ha provocado la disminución de éstos y actualmente se observa un incremento en las actividades turísticas.

El comercio en esta zona, se caracteriza por una oferta restringida que obliga a la población a abastecerse en la Ciudad de Escárcega o en la de Chetumal, es decir, es de escaso desarrollo comercial, consiste en tiendas de ropa, zapatos, abarrotes, papelerías, un mercado público y 20 tiendas rurales.

Generación de residuos municipales (domésticos)

En cuanto a la disposición de residuos del municipio, la reserva de la biosfera de Calakmul cuenta únicamente con un tiradero a cielo abierto “Basurero Municipal”, Actualmente no existe una operación organizada dentro del sitio por lo que el depósito de los residuos se realiza en varias zonas del predio, sin embargo, cuando el volumen lo amerita, a criterio de los operadores, se esparcen los residuos y se queman.

La cobertura de colección respecto a la generación de residuos estimada es del 21.5%, mientras que se tiene un 100% de disposición respecto a la colección. El predio se encuentra a 3.16 km del Ejido de Xpujil, ubicado hacia el norte a 218 metros de la carretera federal Xpujil-Chetumal. Existe otro para este fin ubicado

en el km 11 sobre la carretera Xpujil-Dzibalchén que también sirve como sitio de disposición final. Figura 2.9.



Figura 2.9 Ubicación de los Basureros a cielo abierto

Indicadores generales

La generación de RSU per cápita estimada es de 0.39 kg /habitante día, con un peso volumétrico estimado de 101.59 kg /m³. En la composición de los RSU se consideran los datos obtenidos en el estudio realizado en los meses de noviembre y principio de diciembre del 2007, los muestreos se realizaron directamente de los depósitos del servicio de recolección de basura (Estudio realizado por Agroservicios de Calakmul S.C. de C.V.). Figura 2.10.

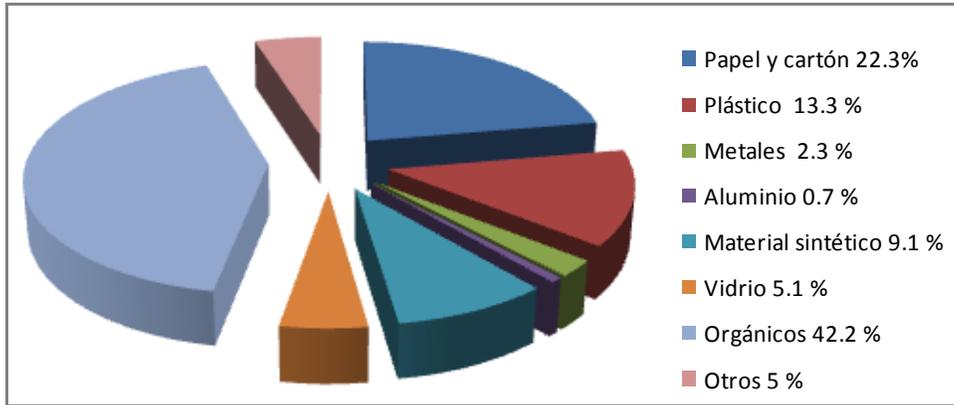


Figura 2.10 Composición promedio de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Calakmul, Campeche.

b) Fuentes móviles

Carreteras

La problemática de la RBC, se ve agravada por el hecho de que la zona núcleo es atravesada por la carretera federal peninsular Escárcega-Chetumal (internacional), y las dos carreteras de terracería que bordean la Reserva al este y oeste (ver figura 2.5). Uno de estos caminos que se extiende del sureste de municipio de Hopelchén, Campeche hacia Xpujil (Cabecera Municipal de Calakmul) sobre la carretera Escárcega- Chetumal es quizá más significativo para la reserva ya que corta tanto la zona núcleo del norte como la zona de amortiguamiento (Gates, *et al* 1999).

Aeródromo

Se cuenta con un aeropuerto de una longitud de 1200 metros que se localiza en la cabecera municipal de Calakmul.

2.2 PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO SIGNIFICATIVO (PSD)

En 1997 en la Ley del Aire Limpio de 1970 de E.U.A., surgió el concepto de Prevención del Deterioro Significativo como resultado de un sonado caso judicial que requirió que la EPA publicara reglamentos para prevenir la "degradación" del

aire en áreas donde las concentraciones de contaminantes son más elevadas que lo exigido en las normas nacionales de calidad del aire ambiental.

El *deterioro significativo* está definido como un aumento en la concentración máxima permitida de contaminantes, o bien como un incremento sobre las concentraciones recomendadas por las normas de calidad del aire existentes para una zona determinada. Se establece un incremento para áreas designadas como zonas en las cuales se están alcanzando los estándares nacionales de calidad del aire. No son permitidos aquellos aumentos en las emisiones que ocasionan un incremento que excede los estándares para un contaminante en particular no son permitidos (EPA, 2005).

El Programa de Deterioro Significativo establecido por la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos, señala que las fuentes reduzcan sus emisiones para: proteger la salud pública y el bienestar; preservar, proteger y mejorar la calidad del aire en los parques nacionales, áreas silvestres nacionales, monumentos nacionales, las costas, y en otras zonas con atributos especiales a nivel nacional o regional, natural, recreativo, paisajístico, histórico o valor; asegurar que el crecimiento económico se producirá en una forma compatible con la preservación de los recursos y asegurar ciertas decisiones para permitir el aumento en la concentración de contaminantes del aire, de manera que permita conservar la calidad del aire adecuada.

El PSD regula las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), y partículas (PM), cuyas emisiones deben ser controladas con la aplicación de la Mejor Tecnología de Control Disponible (BACT), para cumplir con los estándares basados en salud de Calidad de Aire Ambiental Nacional (NAAQS).

2.2.1 Requerimiento para la aplicabilidad del PSD

Para cumplir con el PSD se requiere llevar a cabo una evaluación del impacto en la calidad del aire asociado con la construcción y operación de una fuente nueva o modificación de alguna ya existente. El propósito principal de la evaluación de

la calidad del aire es demostrar que las nuevas emisiones generadas en conjunto con otras emisiones ya existentes en el sitio de interés, no causaran o contribuirán a la violación de cualquier norma aplicable o los límites establecidos en la programa de PSD de la USEPA.

En los lineamientos del PSD, las áreas que cumplen con las normas relacionadas con un contaminante específico se denominan Áreas adecuadas de calidad ambiental. Las áreas que no cumplen estas normas son Áreas no adecuadas de calidad ambiental. Un área puede ser lograda, por ejemplo, para el monóxido de carbono y al mismo tiempo no adecuada para el dióxido de azufre. Los estados son responsables de establecer los límites de cada zona geográfica considerada en el programa con base en su plan estatal para minimizar o controlar contaminantes primarios a la atmosfera.

2.2.2 Clasificación actual de las áreas para aplicación del PSD

Los requerimientos del PSD proveen un sistema de clasificación de áreas, el cual sirve a los Estados como una oportunidad de identificar metas locales para el uso de suelo cumpliendo con lo relativo a la calidad del aire. Existen tres clases de área, cada una difiere en términos del crecimiento que puede permitirse antes de puede ocurrir un deterioro significativo en la calidad del aire pueda ocurrir. La clase I tiene los incrementos menores, permitiendo un pequeño grado de deterioro de la calidad del aire. Las áreas de la clase II puede permitir un crecimiento industrial debidamente controlado. Las áreas de la clase III tienen los mayores incrementos y por lo tanto permiten una mayor cantidad de desarrollo que las áreas correspondientes a las clases I y II. Dentro de la Clase I están los parques nacionales y áreas protegidas de Estados Unidos corresponden a la clase I y no podrán ser designadas en otra clasificación, en la Tabla 2.3 se presentan los incrementos del PSD de acuerdo al área y/o contaminante.

Tabla 2.3 Incrementos en el PSD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Clase I	Clase II	Clase III
Bióxido de azufre			
SO ₂ anual	2	20	40

SO ₂ 24 horas	5	91	182
SO ₂ 3 horas	25	512	700
Partículas			
PST Anual	5	19	
PST 24 horas	10	23	75
Bióxido de Nitrógeno			
NO ₂ anual	2.5	25	50

Fuente: EPA, 1990

2.3 PROGRAMAS Y PLANES RELACIONADOS CON EL SITIO DE ESTUDIO

En este apartado se describen las bases para el desarrollo del diseño del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo de la Reserva de la biosfera de Calakmul.

2.3.1 Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul (PMRBC)

Publicación considerada como un instrumento de planeación y gestión ambiental, mediante el cual se presenta un diagnóstico general de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, incluyendo su problemática y potencialidades de aprovechamiento, teniendo como fin la planificación de acciones para la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, derivadas del crecimiento industrial, comercial, turístico, etc. El PMRBC, describe la zonificación detallada de la reserva, así como las actividades que se permiten dentro de cada zona o subzona.

a) Zonas Núcleo Sur y Zona Núcleo Norte

Las zonas núcleo, tienen como principal objetivo la preservación de los ecosistemas a mediano y largo plazo. En éstas zonas se permitirán actividades de investigación y colecta científica, saneamiento forestal actividades limpias tendientes a la preservación de los ecosistemas, inspección y vigilancia, educación ambiental y las visitas guiadas, exclusivamente en aquellas rutas o senderos de interpretación ambiental autorizados por la Dirección. Esta zona

cuenta con una subzona denominada “Zona de Asentamientos Humanos” que son las áreas comprendidas por dotaciones ejidales y propiedad privada legalmente establecidas, cuyos usos y destinos son agrícolas y de agostadero. En estas zonas se permitirá el desarrollo de las actividades productivas emprendidas por las comunidades que ahí habitan, de ganadería intensiva y estabulada.

b).- Zona de Amortiguamiento

Estas zonas tienen como función principal orientar a que las actividades de aprovechamiento, que ahí se lleven a cabo, se conduzcan hacia el desarrollo sustentable, creando al mismo tiempo las condiciones necesarias para lograr la conservación de los ecosistemas. Es el área comprendida por los terrenos que rodean a las zonas núcleo de la Reserva para protegerlas del impacto exterior y

está conformada por 5 subzonas (Figura 2.11):

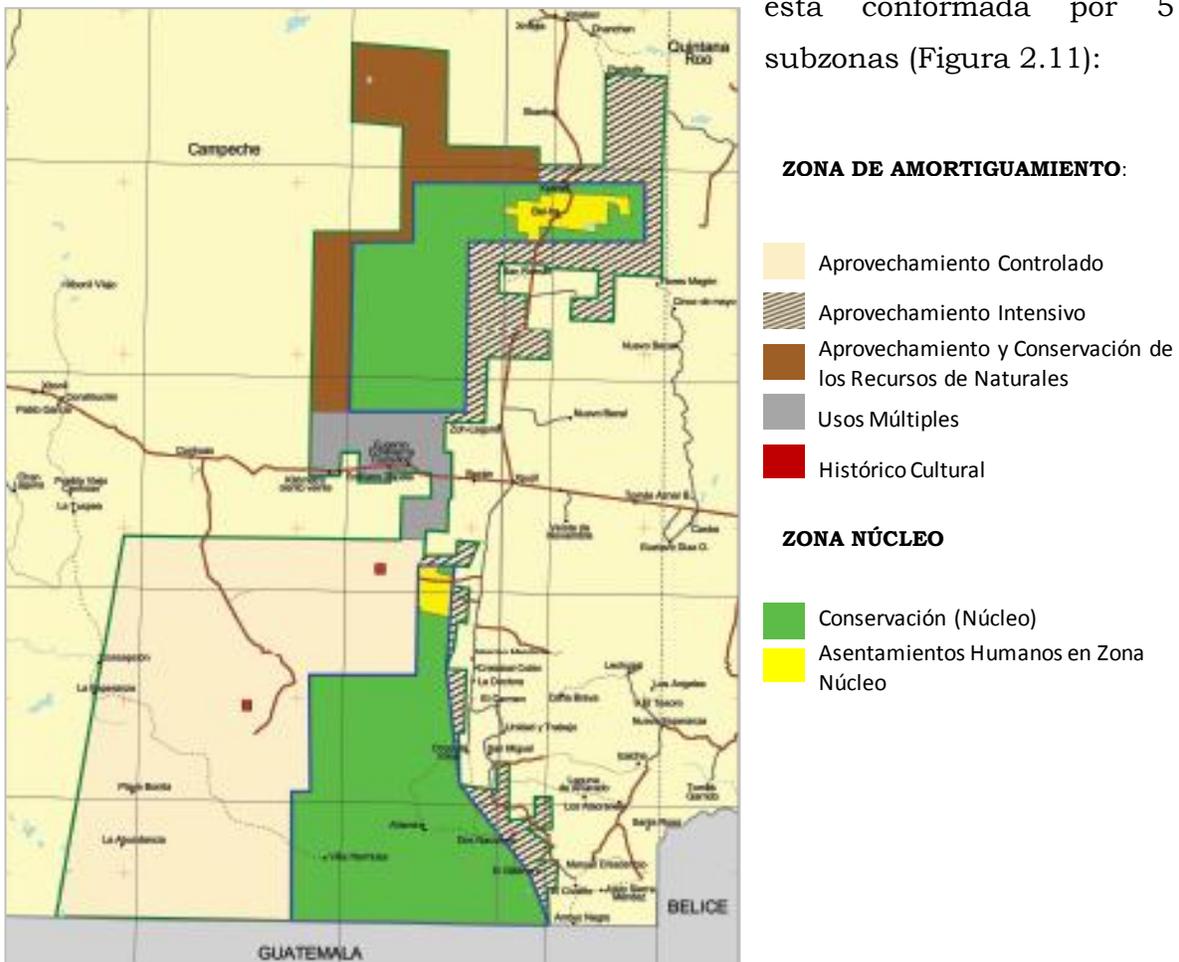


Figura 2.11 Zonificación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul

2.3.2 Planeación para la Conservación de Calakmul-Balan Kin- Balan-Ku

El documento Planeación para la Conservación de Calakmul Balan Kin- Balan-Ku, una herramienta metodológica, integró y analizó información que permitió caracterizar los atributos, procesos biológicos y procesos ecológicos más importantes, así como esbozar estrategias y acciones de conservación, protección y manejo para la zona de Calakmul, Balan Kin-Balan-Ku, su propósito principal fue obtener el estado de conservación de un área determinada mediante la selección de criterios. Sin embargo, se concluye que el área se encuentra en condiciones adecuadas, con algunos impactos, pero al mismo tiempo las condiciones actuales de uso, así como las tendencias de desarrollo en el futuro próximo, amenazan seriamente la permanencia e integridad de la riqueza natural del sitio.

2.3.3 Ordenamiento del territorio del Municipio de Calakmul, Campeche

Este Ordenamiento del territorio tiene como meta alcanzar una distribución geográfica de la población y sus actividades, de acuerdo con la integridad, funcionalidad y potencialidad de los recursos que conforman el entorno físico y biótico, con el propósito de obtener condiciones de vida mejores.

Otro de los propósitos de este estudio es conocer el grado de alteración de los paisajes que existen en el municipio, así como la capacidad de asimilar las diversas actividades económicas en el uso del suelo, y con ello, poder generar propuestas compatibles con el ambiente. Esto con el fin de que las diversas instancias de toma de decisiones, usuarios del suelo, planificadores, etc. puedan apoyarse en estas propuestas para guiar su toma de decisión.

Es el instrumento fundamental que establece la legislación ambiental mexicana para normar los usos del suelo y las actividades productivas de acuerdo con la capacidad de sustentación del territorio. Está orientado al logro del desarrollo

sustentable y la conservación de los recursos naturales, y a su vez, es marco de referencia para la evaluación del impacto ambiental.

2.4. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El término evaluación de impacto ambiental (EIA) se utiliza para describir el proceso jurídico-administrativo impuesto por un gobierno a las agencias públicas y privadas para aprobar, rechazar o modificar un proyecto o actividad desde su etapa de planeación a través de un proceso o método analítico que permita identificar y evaluar los impactos ambientales potenciales que puede provocar un proyecto, programa o actividad sobre el ambiental. Sin embargo, es la herramienta principal con la que se cuenta en nuestro país para prevenir el daño a la salud, deterioro de los ecosistemas naturales y proteger el patrimonio nacional.

Dicho procedimiento para la evaluación de impactos ambientales puede establecer en diferentes etapas según lo establecido en el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia Impacto Ambiental. La primera consiste en detallar las características del proyecto, obras y actividades involucradas en cada una de sus fases; caracterizar la situación ambiental existente y los posibles niveles de alteración; describir los aspectos ambientales y socioeconómicos, así como predecir las condiciones ambientales que se tendrían de no llevarse a cabo el proyecto. En la segunda etapa, se incluye la identificación, predicción y evaluación de los efectos que tendrá la implantación del proyecto. Para esto, se cuenta con diversas metodologías, técnicas, modelos de análisis, etc. La última etapa consiste en proponer diversas medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales que causaría el proyecto en cada una de sus fases, de no contemplar su control y mitigación.

Las metodologías de evaluación de impacto ambiental se refieren a los enfoques desarrollados para identificar, predecir y valorar las alteraciones de una acción. El proceso consiste en reconocer qué variables y/o procesos físicos, químicos,

biológicos, socioeconómicos, culturales y paisajísticos pueden ser afectados de manera significativa (Gómez, 2002) En la siguiente tabla 2.4 se muestran las metodologías utilizadas para la evaluación de impacto ambiental:

Listas de verificación
Análisis costo - beneficio ambiental
Opinión de expertos
Índices o indicadores
Pruebas de laboratorio y modelos a escala
Evaluación de paisaje
Revisión de literatura
Balances de masa (inventarios)
Matrices
Redes
Superposición de mapas con SIG
Montajes de fotografías
Modelaje cualitativo (conceptual)
Modelaje cuantitativo
Evaluación de riesgos
Construcción de escenarios

2.4.1 Listas de chequeo o verificación

Son listas que permiten identificar rápidamente los impactos, pueden ser indicativas o cuantitativas, básicamente consisten en listas de factores ambientales que son potencialmente afectados por una acción humana, su principal utilidad es identificar todas las posibles consecuencias ligadas a la acción propuesta, asegurando en una primera etapa de la evaluación de impacto ambiental que ninguna alteración relevante sea omitida.

Una lista de verificación debería contener ítems, como los siguientes, que permiten identificar impactos sobre: suelo (usos del suelo, rasgos físicos únicos, etc.), agua (calidad, alteración de caudales, etc.), atmósfera (calidad del aire, variación de temperatura, etc.), flora (especies en peligro, deforestación, etc.), fauna (especies raras, especies en peligro, etc.), recursos (paisajes naturales, pantanos, etc.), recreación (pérdida de pesca, camping y picnics, etc.), culturales (afectación de comunidades indígenas, cambios de costumbres, etc.), y en general

sobre todos los elementos del ambiente que sean de interés especial.

2.4.2 Matrices

Estos métodos consisten en tablas de doble entrada, con características y elementos ambientales y con las acciones previstas del proyecto. En la intersección de cada renglón con cada columna se identifican los impactos correspondientes, existen matrices más complejas en que pueden deducirse los encadenamientos entre efectos primarios y secundarios.

La matriz de Leopold, fue desarrollada en los años setentas por el Dr. Luna Leopold y colaboradores, para ser aplicada en proyectos de construcción y es especialmente útil, por enfoque y contenido, para la evaluación preliminar de aquellos proyectos de los que se prevén grandes impactos ambientales. La matriz sirve sólo para identificar impactos y su origen, sin proporcionarles un valor. Permite estimar la importancia y magnitud de los impactos con la ayuda de un grupo de expertos y de otros profesionales involucrados en el proyecto.

La Matriz de Leopold, consiste en un listado de 100 acciones que pueden causar impactos ambientales y 88 características ambientales. Esta combinación produce una matriz con 8.800 casilleros. En cada casillero, a su vez, se distingue entre magnitud e importancia del impacto en una escala que va de uno a diez. La magnitud del impacto hace referencia a su cantidad física; si es grande o pequeño dependerá del patrón de comparación, y puede tener el carácter de positivo o negativo, si es que el tipo de modificación identificada es deseado o no, respectivamente. La importancia, que sólo puede recibir valores positivos, queda dada por la ponderación que se le asigne y puede ser muy diferente de la magnitud (Espinosa, 2001).

2.4.3 Índices e indicadores ambientales

Los indicadores e índices ambientales son instrumentos útiles que permiten describir el valor de un impacto mediante la síntesis de datos y proporcionan

información de manera simplificada, sobre la calidad de determinada situación ambiental.

Un **indicador ambiental** representa la estimación de la magnitud de un determinado impacto ambiental y un **índice ambiental** representa la estimación de la magnitud de un determinado impacto ambiental a partir de estimaciones indirectas del valor del factor ambiental afectado.

Los indicadores son series de variables, seleccionadas de una gran base de datos, que poseen significado sintético y permiten cubrir propósitos específicos, consecuentemente, no existe un conjunto universal de indicadores ambientales, sino que se trata de conjuntos que responden a marcos de referencia y a propósitos específicos. Su principal importancia radica en que sirven como base para las mediciones y para su posterior interpretación y toma de decisiones.

Los indicadores ambientales sirven para informar sobre el estado del medio, conocer las relaciones entre las presiones que imponen las diversas actividades humanas sobre la calidad de los componentes del medio ambiente, y para elaborar respuestas para enfrentar las presiones de deterioro. Estos indicadores pueden ser vistos como equivalentes a los indicadores de bienestar social o de desarrollo económico que actualmente son aceptados por la comunidad internacional.

Por lo tanto, se dispone de una diversidad de indicadores, pueden ser tan generales o tan específicos como su aplicación lo requiera. Existen indicadores para calidad del agua, calidad del aire, erosión del suelo, diversidad y residuos.

De acuerdo con la definición dada en el manual ambiental de Banco Mundial un indicador es “algo que da una idea en relación a una cuestión de mayor significancia, o que hace perceptible una tendencia o fenómeno que no es fácilmente detectable. La principal característica de un indicador es la de cuantificar y simplificar información de tal manera que promueva el entendimiento de los problemas ambientales, tanto para los tomadores de

decisiones como para la gente en general. Un indicador debe ser práctico y realista, debe cumplir con el objetivo de dar información acerca de la dirección de un efecto o cambio en el ambiente.”

Los indicadores según su uso se pueden clasificar (OCDE, 1994) en:

- 1) Indicadores de evaluación: son cuantitativos y expresan la situación ambiental en sus aspectos más relevantes.
- 2) Indicadores de integración sectorial: informan sobre las interrelaciones entre los sectores económicos y el medioambiente
- 3) Indicadores de integración económica: se refieren al costo ambiental de las actividades económicas para analizar el desarrollo real desde una perspectiva de desarrollo sustentable.

El desarrollo de **índices** numéricos permite valorar la calidad ambiental, la vulnerabilidad del medio, la contaminación producida, prevenir impactos en el medio y obtener bases para evaluar programas ambientales. Para ello, se requiere diferentes etapas genéricas, como la identificación de los factores ambientales, la asignación de pesos de importancia relativa, la utilización de funciones de escala, el uso de funciones de agregación que permita sumar variables diversas y estudios de campo.

Existe una diversidad de índices de calidad ambiental generales e índices parciales como son: el índice de calidad del agua (ICA), índice de calidad del aire (IMECA, ORAQI (Oak Ridge Air Quality Index), índice de calidad de suelo, índice de calidad del paisaje, índice de ruido, índice de diversidad, índice de diversidad e índice de calidad de fauna.

2.4.4 Método de Battelle Columbus

Este método fue diseñado para evaluar el impacto de proyectos relacionados con

recursos hídricos, aunque también se utiliza en una evaluación de proyectos lineales (aeropuertos, carreteras, tuberías, gasoductos), plantas nucleares, entre otros. Y se caracteriza por tener una complejidad asociada a la disponibilidad de información que permita establecer la calidad ambiental.

Este método propone una clasificación de impactos ambientales basados en categorías, componentes, parámetros y medidas ambientales, establece unidades comparables para diversas variables y se requiere que los datos ambientales se transformen a unidades conmensurables. Consiste en asignar a cada factor un peso, ponderación o índice de importancia distribuyendo una cantidad determinada, en este caso de 1000 unidades, que se distribuyen en 4 categorías, 18 componentes y 78 elementos.

2.4.5 Funciones de transformación

Las funciones de transformación son relaciones entre la magnitud de un indicador, medida en sus propias unidades, y la calidad ambiental expresada en unidades estandarizadas (ejemplo entre 0 y 1), adimensionales y comparables donde en este ejemplo el 0 corresponde al valor pésimo y el 1 al óptimo. Es decir, pueden ser curvas de calidad que relacionan la magnitud de un factor ambiental y la calidad ambiental. La importancia de las funciones de transformación es la claridad con la que expresan, gráficamente, la diferencia entre la modificación de un elemento o proceso del medio y el significado de tal modificación.

2.4.6 Cartografía o superposición de mapas

Los métodos gráficos han estado permanentemente vigentes en diversas categorías de análisis ambiental, particularmente en su proyección espacial. El procedimiento más utilizado es la superposición de transparencias, donde diversos mapas que establecen impactos individuales sobre un territorio son sobrepuestos para obtener un impacto global. Cada mapa indica una

característica física, social, o cultural, que refleja un impacto ambiental específico. Los mapas pueden identificar, predecir y asignar un valor relativo a cada impacto. La superposición de mapas permite una comprensión del conjunto de impactos establecidos en forma independiente, relacionarlos con diversas características (como aspectos físicos o socioeconómicos de la población) y establecer de esta forma un impacto global.

Para la elaboración de los mapas se utilizan elementos como fotografías aéreas, mapas topográficos, observaciones en terreno, opinión de expertos y de diferentes actores sociales, etc. Es relevante que los mapas tengan la misma escala entre sí y que, además, aporten un adecuado nivel de resolución para el tema en análisis.

2.5.-LEGISLACIÓN

De los preceptos constitucionales existentes en México, se derivan una serie de cuerpos normativos que regulan materias relacionadas con la protección del ambiente y de los recursos naturales, destacando la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, sus reglamentos y las normas oficiales mexicanas. Por lo tanto, se indica la legislación ambiental que pudiera aplicarse para el desarrollo del diseño del programa, principalmente las normas oficiales mexicanas en materia ambiental, ya que son una herramienta que permite a la autoridad establecer requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas para el aprovechamiento de recursos naturales, en el desarrollo de actividades económicas, en el uso y destino de bienes, en insumos y en procesos.

2.5.1 Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

La Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se refiere a la preservación, conservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer

bases para: la preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente; la preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas; la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo; el establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se derivan, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

2.5.2 Reglamentos de la LGEEPA

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de **Áreas Naturales Protegidas**, establece lo relativo al establecimiento, administración y manejo de dichas.

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia **de Impacto Ambiental**, establece lo requerimientos para el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Por su parte, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de **Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera**, se refiere a los criterios ecológicos generales que deben observarse en observarse en este tema. Aplica para la protección a la atmósfera considerando los criterios de calidad del aire, la cual debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos, y las emisiones de contaminantes, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, las cuales deben ser reducidas o controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Existe también el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia **de Ordenamiento Ecológico**, que establece las bases sobre la determinación de los criterios y mecanismos tendientes a promover la congruencia del ordenamiento ecológico con otros instrumentos de

política ambiental; la formulación, aplicación, expedición, ejecución y evaluación del programa de ordenamiento ecológico general del territorio y de los programas de ordenamiento ecológico marino, en coordinación con las dependencias y entidades federales competentes.

Finalmente el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de **Residuos Peligrosos**, establece la responsabilidad del cumplimiento de las disposiciones del reglamento y de las normas técnicas ecológicas que de él se deriven, del generador de residuos peligrosos, así como las personas físicas o morales, públicas o privadas que manejen, importen o exporten dichos residuos. Además, establece los requerimientos para el establecimiento de los planes de manejo de residuos, sistemas de manejo ambiental, identificación de residuos, residuos peligrosos, autorizaciones, etc.

2.5.3 Normas Oficiales Mexicanas

2.5.3.1 Aire

Con respecto al componente aire, en nuestro país se miden y están normadas el bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y 2.5 (PM_{2.5}) micrómetros de diámetro y plomo (Pb). Para cada uno de estos contaminantes se cuenta con un estándar o norma de calidad del aire. Las normas de calidad del aire establecen las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente que no debieran excederse, para que pueda garantizarse que se protege adecuadamente la salud de la población, inclusive la de los grupos más susceptibles como los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias crónicas, entre otros.

En este caso las normas las define la Secretaría de Salud y se conocen como Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental como se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Normas Oficiales Mexicanas calidad de aire

Partículas suspendidas totales	PST	NOM-024-SSA1-1993
Partículas menores a 10 µm	PM ₁₀	NOM-025-SSA1-1993
Partículas menores a 2.5 µm	PM _{2.5}	NOM-025-SSA1-1993
Dióxido de azufre	SO ₂	NOM-022-SSAI-1993
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	NOM-023-SSAI-1993
Monóxido de carbono	CO	NOM-021-SSAI-1993

La variable visibilidad no está regulada como tal, únicamente el sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) lleva un registro a través de fotografías que se obtienen con una cámara digital con zoom óptico de 10x y una resolución de 1600 x 1200 pixeles. Sin embargo, en la tabla 2.6 se muestra la relación entre concentración de partículas menores a 2.5 micrómetros y la reducción de la visibilidad.

Tabla 2.6 Visibilidad

PM2.5	Agencia	Concentración µg/m ³	Reducción de visibilidad (Km)
Promedio anual	USEPA	15	48
Promedio anual	WHO	10	67
Promedio diario	USEPA	35	23
Promedio diario	EU/WHO	25	31

*EU: Unión Europea (2007),
WHO: Organización mundial de la Salud (2005)*

2.5.3.2 Agua

La norma oficial mexicana relacionada con el tema de agua para el diseño del programa es la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el propósito de proteger su calidad y posibilitar sus usos.

2.5.3.3 Suelo

Para contaminantes en suelo, la Norma Oficial Mexicana NOM-138-

SEMARNAT/SS-2003, establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos (Fracción ligera, fracción media y fracción pesada) y las especificaciones para su caracterización.

2.5.3.4 Flora y Fauna

En cuanto a la flora y fauna únicamente se considerará lo establecido en la norma oficial mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2001) que establece las especies que están bajo alguna categoría de riesgo que puede ser: probablemente extinta en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazada y sujeta a protección especial.

El método de evaluación de riesgo de extinción (MER) de las especies silvestres en México se basa en 4 criterios: amplitud de la distribución en México, estado de hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón, Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón, impacto de la actividad humana sobre el taxón.

2.5.3.5 Residuos

En cuanto a la legislación con respecto a los residuos, el artículo 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), dispone que el municipio es responsable del control de los residuos sólidos urbanos. Cumple esta obligación mediante un proceso de gestión y manejo que incluye la facultad de participar en coordinación con los programas federal y estatal, específicamente para atender a los microgeneradores de residuos peligrosos y especiales. Además, se cuenta con las normas oficiales mexicanas (tabla 2.7) y normas mexicanas que especifican los métodos de prueba para determinar ciertos parámetros como nitrógeno total, fósforo total, contenido de humedad, cenizas, peso volumétrico, etc.

Tabla 2.7 Normas Oficiales mexicanas

NOM-098-SEMARNAT-2002	Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes
-----------------------	--

NOM-083-SEMARNAT-2003,	Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial
------------------------	--

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.- METODOLOGIA

Se diseñó un programa de prevención del deterioro ambiental significativo para la Reserva de la Biosfera de Calakmul, tomando de referencia el Programa para la prevención del deterioro significativo establecido por la Agencia de Protección al ambiente de Estados Unidos (*Prevention of Significant Deterioration-EPA*), el programa de manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, la situación ambiental del sitio, así como el uso de indicadores o índices ambientales, metodologías de evaluación de impacto ambiental (Figura 3.1) y la normatividad ambiental aplicable en México.

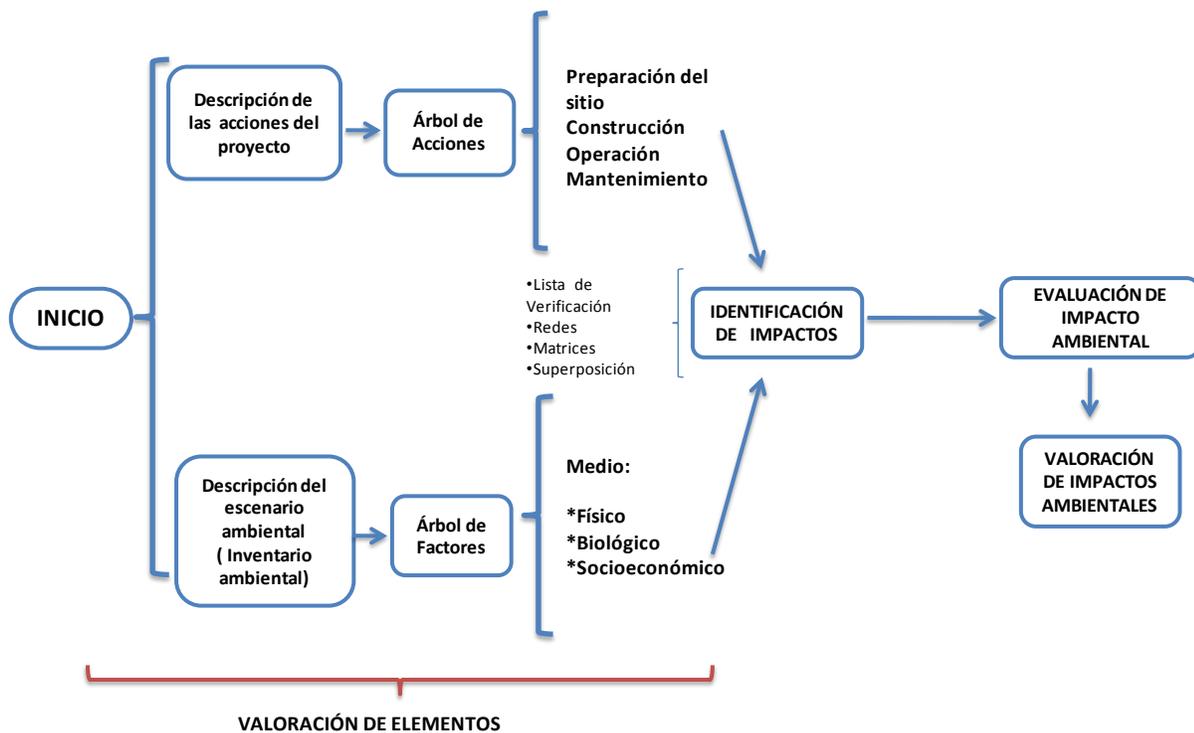


Figura 3.1 Metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental

Para elaborar el diseño del PSD, primero se delimitó el sitio de estudio y se recopiló la información bibliografía necesaria para la descripción ambiental de la RBC, posteriormente se realizó el análisis de situación ambiental de la RBC que sustenta el diseño y por último se definió la estructura y contenido del diseño

como se muestra en el esquema de la figura 3.2.

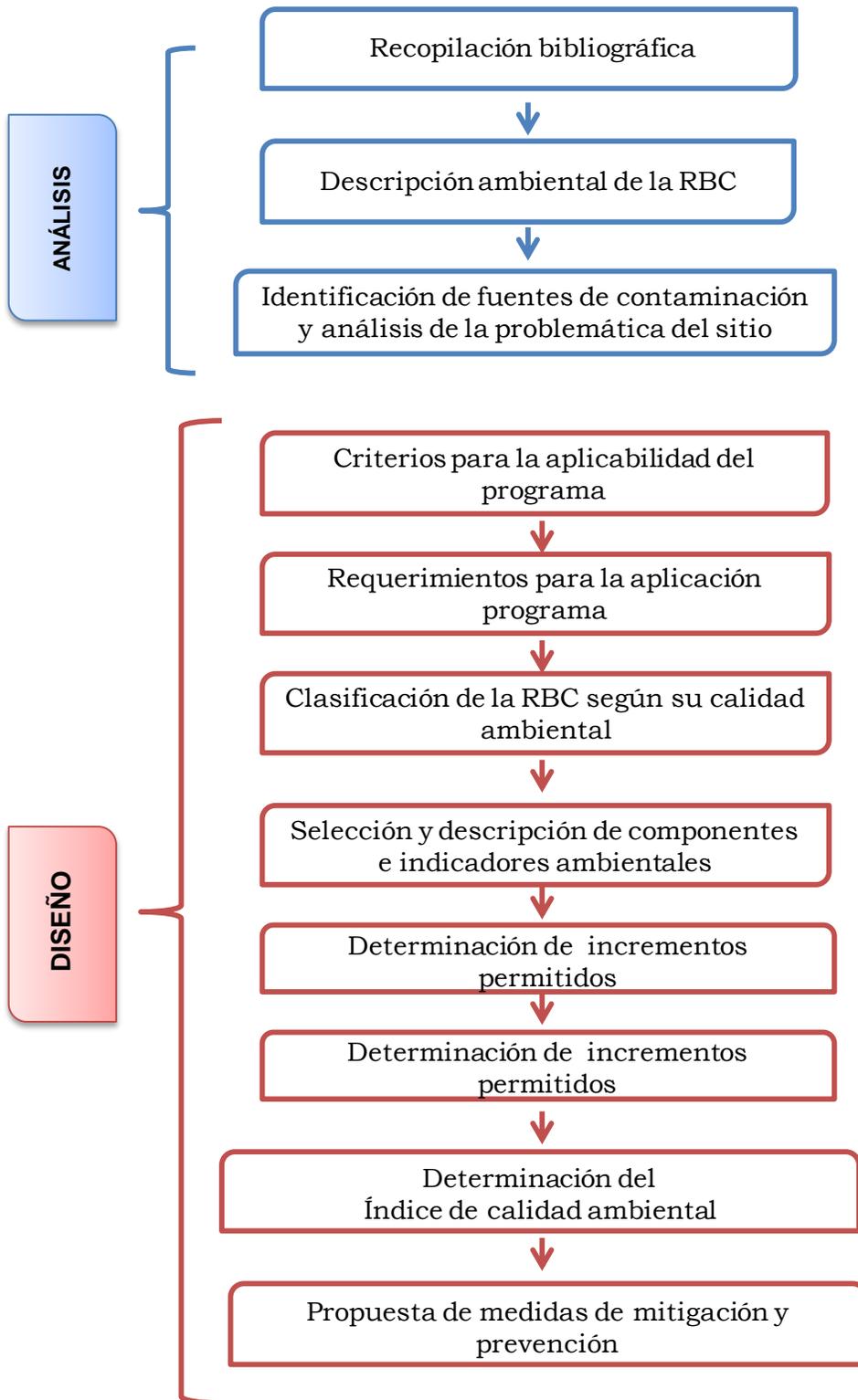


Figura 3.2 Metodología para diseñar el programa para la prevención del deterioro significativo

3.1 DELIMITACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Para el presente trabajo se eligió un sitio de estudio con las condiciones necesarias para poder aplicar un programa de prevención del deterioro ambiental significativo, como lo es la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC) que es una de las regiones donde se presume que la calidad ambiental es satisfactoria, sin embargo su ubicación geográfica, el incremento demográfico y de las actividades productivas, entre otras, pudieran acelerar el desarrollo (industrial, comercial, turístico) de la zona. Se localiza al sureste del estado de Campeche, en el municipio de Calakmul, limita al este con el Estado de Quintana Roo y al sur con la República de Guatemala. Ver figura 3.3.

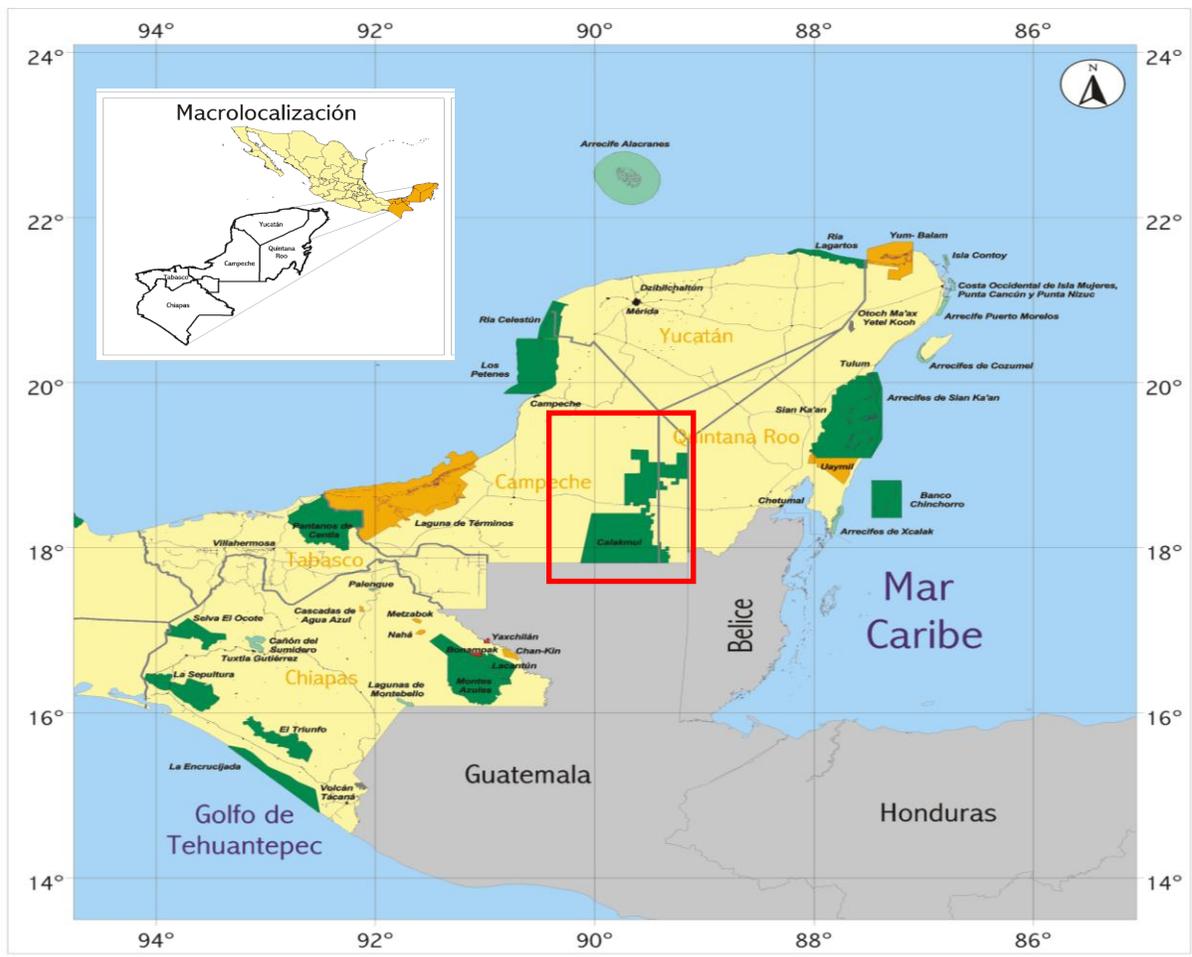


Figura 3.3 Ubicación del Área de Estudio (Reserva de la Biosfera de Calakmul) Fuente:

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Especificaciones cartográficas (Proyección Geográfica Esferoide Clarke, 1866 y Datum Horizontal: NAD 1927)

Cabe mencionar que la RBC representa la mayor reserva mexicana de bosque tropical, cuyas características climatológicas, edafológicas y de vegetación tienen la peculiaridad de conformar una mezcla de selvas altas y medianas con selvas bajas temporalmente inundables y vegetación acuática (Martínez, *et al.* 2002).

3.2 ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL

3.2.1 Recopilación bibliográfica

Se recopiló y seleccionó la información bibliográfica necesaria conocer la situación del sitio (artículos, libros, programas de manejo, normas oficiales mexicanas, etc.), sus características bióticas, abióticas y del medio socioeconómico, así como los programas para la prevención relacionados con el deterioro ambiental y posteriormente establecer las bases para el diseño preliminar del Programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo. Posteriormente se realizó un análisis de la problemática ambiental de la zona de estudio, para lo cual se identificaron las principales fuentes de emisión (INEM, 1999), así como los principales impactos ambientales siguiendo el esquema de la metodología para la evaluación de impacto ambiental, que se muestra en la siguiente figura 3.3, de manera que se realizó la identificación de impactos ambientales mediante una matriz de Leopold modificada.

3.2.2 Descripción ambiental de las características de la RBC

De la revisión de artículos, libros y documentos oficiales se obtuvo información necesaria para la descripción de los componentes bióticos y abióticos, así como del medio socioeconómico de la Reserva de la biosfera de Calakmul.

3.2.3 Identificación de fuentes de contaminación y análisis de la problemática de la RBC

A partir de la recopilación y selección de la información bibliográfica se obtuvo la información necesaria para identificar las principales fuentes de contaminación,

realizar un estudio demográfico e identificar los impactos ambientales que afectan la RBC.

3.2.3.1 Estudio demográfico

Se realizó un análisis de la información sobre las localidades existentes en la Reserva de la biosfera de Calakmul utilizando los datos de los censos de población y localidades para el municipio de Calakmul, Campeche (Censo de población y vivienda 1995, Censo general de población y vivienda 2000 y Censo de población y vivienda 2005).

3.2.3.2 Identificación de impactos ambientales

Para la identificación de impactos ambientales primero se elaboró un árbol de factores, seguido de un árbol de acciones para identificar los componentes e indicadores ambientales susceptibles de ser afectados y las actividades generadas por los impactos actualmente dentro de la RBC y posteriormente se aplicó una matriz de Leopold modificada a las características de la RBC.

3.2.3.2.1 Elaboración del árbol de factores

Para elaborar el árbol de factores se realizó una lista con 4 niveles jerárquicos el sistema, los medios, elementos y factores ambientales que pueden ser afectados por las actividades que se presentan en el zona, cabe mencionar que para ellos se consideró la descripción de la características de la RBC, y las principales fuentes de contaminación.

3.2.3.2.2 Elaboración del árbol de acciones

El procedimiento para elaborar el árbol de acciones, consiste en listar las actividades que afectan la zona y que tienen potencial de causar impactos ambientales relacionados con los componentes que están siendo afectados por dichas actividades.

3.2.3.2.3 Aplicación de la matriz de Leopold

El procedimiento consiste en generar y emplear una matriz de Leopold

modificada, que permita identificar los posibles impactos (su importancia y su magnitud) que se pudiesen presentar a consecuencia de las distintas actividades que desarrollan. Al realizar la matriz, en las columnas se establecen las actividades que se analizan y en los renglones los componentes ambientales y sus correspondientes variables; en la celda resultante se establece el tipo o carácter del impacto. De manera que fue posible aplicar la matriz de Leopold procediendo de la siguiente manera:

1. Se identificaron las acciones humanas que se analizan (columnas) y se buscaron aquellas interacciones con los componentes o factores del medio (renglones) sobre los que puede producirse un impacto. Figura 3.4.
2. Los impactos (positivos o negativos) son identificados con una diagonal.
3. En cada casilla con diagonal (interacciones) se indica la magnitud (M) y la importancia (I), como se muestran en la figura 3.4. La magnitud es la valoración del impacto o de la alteración potencial a ser provocada se califica el grado; extensión o escala; se coloca en la mitad superior izquierda de la casilla. Hace referencia a la intensidad, a la dimensión del impacto en sí mismo y se califica del 1 al 10 de menor a mayor, anteponiendo un signo + para los efectos positivos y – para los negativos. La importancia es el valor ponderal, que da el peso relativo del potencial del impacto, se escribe a la mitad inferior derecha de la casilla. Hace referencia a la relevancia del impacto sobre la calidad del medio, y a la extensión o zona territorial afectada, se califica también del 1 al 10 en orden creciente de importancia.

Factores		Acciones			
M	I	Acc 1	Acc 2	Acc 3	Acc 4
Fac 1		1 / 5			
Fac 2					7 / 3
Fac 3			1 / 3		
Total positivos					
Total negativos					

Figura 3.4 Ejemplo de la identificación de impactos ambientales (Matriz de Leopold)

3.3 DISEÑO DEL PROGRAMA

Para realizar el diseño del programa para la prevención de deterioro se consideró el análisis del entorno de la RBC y la identificación de los impactos ambientales y por consiguiente los principales componentes e indicadores que son afectados por las fuentes de contaminación existentes y las actividades que se desarrollan.

3.3.1 Determinación de los alcances

Como primer paso para el diseño del programa se definieron objetivos y alcances considerando la metodología del Programa para la prevención del deterioro significativo creada por la Agencia de Protección al ambiente de Estados Unidos y con base en las necesidades de proteger zonas de gran importancia cultural y ambiental como la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

3.3.2 Criterios para la aplicabilidad del programa

En este rubro se describieron los criterios que se deben considerar antes de la aplicación del programa para la prevención de deterioro ambiental significativo en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, sin embargo, este programa también puede *ser aplicado en otras áreas naturales protegidas*.

3.3.3 Requerimientos para la aplicación del programa

En este apartado se describieron los requerimientos que se utilizaran durante la aplicación del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo.

3.3.4 Identificación de clases dentro de la RBC según su calidad ambiental

De acuerdo con la metodología del PSD, se requiere un sistema de clasificación de áreas para la zona basado en calidad ambiental y tipo de actividades que estarán permitidas en cada una de ellas.

Por lo tanto, se utilizó la zonificación propuesta en el programa de manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul quedando distribuida en 2 zonas principales:

a) Zona Núcleo comprendida por la zona Sur y la zona Norte

b) Zona de Amortiguamiento, comprendida por cinco subzonas: de Aprovechamiento Controlado, de Aprovechamiento Intensivo, de Protección de los Recursos Naturales, de Usos Múltiples y la Subzona Histórico Cultural.

Por lo tanto cada clase (zona) difiere en términos del desarrollo que será permitido en la RBC, antes de que pueda ocurrir un deterioro significativo de la calidad ambiental.

3.3.5 Selección e importancia de los componentes e indicadores ambientales

Dado que los contaminantes pueden provenir de una variedad de fuentes, fue necesario establecer marcadores de la contaminación que sirvan como indicadores (tabla 3.1), para dicha selección se consideraron los siguientes criterios:

Tabla 3. 1 Indicadores Ambientales establecidos

Medio o Categorías ambientales	Componentes ambientales	Indicadores ambientales
Físico	Aire	1.-Bióxido de Azufre (SO ₂) 2.-Partículas menores a 2.5µm (PM _{2.5}) 3.-Bióxido de Nitrógeno (NO ₂) 4.-Monóxido de Carbono (CO) 5.-Ozono (O ₃)
Físico	Agua	6.-pH 7.-Temperatura 8.-Demanda Bioquímica de Oxígeno 9.-Nitrógeno Total 10.-Fosforo Total 11.-Coliformes totales
Físico	Suelo	12.-Hidrocarburos -Fracción ligera 13.- -fracción media 14.- -fracción pesada 15.- Plaguicidas -aldrin 16.- -dieldrin 17.- -DDT 18.- -clordano 19.- -Paracuat
Biótico	Vegetación	20.-Especies en bajo protección especial
Biótico	Fauna	21.-Especies en bajo protección especial
Socio-económico	Residuos	22.- Tasa de generación de residuos
	Población	23.- Crecimiento demográfico

1) Relevancia política y utilidad

- Proporcionan información representativa de las condiciones ambientales, de las presiones sobre el ambiente o de la actitud de la comunidad.
- Deben ser simples, fáciles de interpretar y capaces de mostrar tendencias en el tiempo.
- Tienen que responder a los cambios en el ambiente o de las actividades humanas.
- Proporcionar una base para comparaciones internacionales.
- Deben ser aplicables en ambientes regionales o nacionales.
- Deben tener un umbral o un valor de referencia para poder ser comparables de manera que los usuarios pueden evaluar la significancia de valores asociados.

2) Consistencia analítica

- Estar fundamentados teóricamente en términos científicos y técnicos
- Basarse en normas nacionales e internacionales.

3) Fácilmente medibles

- Que sean fácilmente medibles o en su caso proporcionen una relación razonable de costo/beneficio.
- Se debe tener información de calidad debidamente documentada.

3.3.5.1 Aire

Los indicadores que corresponden al componente aire, se seleccionaron con base en criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas como se muestra en la tabla 3.2, así como por sus efectos a la salud y por ser precursores de contaminantes secundarios.

SO₂

El SO₂ de origen antropogénico es causado por la combustión de combustibles que contienen azufre (diesel, combustóleo, carbón y petróleo), y la fundición de minerales ricos en azufre, así como por la quema de biomasa, en rellenos

sanitarios e incendios forestales (Orozco *et al.*, 2003).

Tabla 3.2 Aire- Límites máximos permisibles

Contaminante	Exposición aguda Concentración Promedio 24h	Exposición crónica Promedio anual	Normas Oficiales Mexicanas	Método de Referencia
SO ₂	0.13 ppm 341 µg/m ³	79 ppm 0.03 µg/m ³	NOM-022-SSAI-1993	Pararosanilina Método equivalente fluorescencia
NO ₂	–	0.21 ppm 395 µg/m ³	NOM-023-SSAI-1993	Quimioluminiscencia en fase gaseosa
CO	–	11 ppm 12595 µg/m ³	NOM-021-SSAI-1993	Absorción infrarroja
PST	210	-	NOM-024-SSA1-1993	Gravimétrico (Hi-vol)
PM ₁₀	120	50	NOM-025-SSA1-1993	Gravimétrico (Hi-vol)
PM _{2.5}	65	15	NOM-025-SSA1-1993	Gravimétrico (Hi-vol)

NO₂

Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles y la utilización masiva de fertilizantes nitrogenados (Shishir y Patil, 2001; Orozco *et al.*, 2003).

CO

El monóxido de carbono se produce en la combustión parcial de los compuestos que contienen carbono, principalmente de los motores de combustión interna, en condiciones en donde la disponibilidad de oxígeno es insuficiente, entre las fuentes naturales que lo producen se encuentran la quema de biomasa y la oxidación de compuestos orgánicos como el isopreno y el metano. Sin embargo, los niveles atmosféricos de monóxido de carbono en las áreas urbanas muestran un correlación positiva con la densidad de tráfico vehicular y una correlación negativa con la velocidad del viento (Manahan, 2007).

Partículas

La contaminación por partículas atmosféricas origina importantes efectos sobre los seres vivos, materiales y procesos atmosféricos globales. Son responsables de problemas de contaminación del aire que ocurren principalmente en zonas urbanas (Cass, 1998). Usualmente las partículas con un diámetro de entre 0.0002 y 100 μm se designan en su conjunto como Partículas Suspensas Totales (PST).

La vegetación puede verse afectada negativamente por cantidades excesivas de partículas, que cubren las hojas y taponan los estomas, ahí la menor absorción de dióxido de carbono atmosférico y una mayor intensidad de los rayos de sol que alcanzan el interior de la hoja, lo que causa la detención del crecimiento de algunas plantas (Dereck, 1990).

La visibilidad, es importante debido a que la disminución de la misma, afecta lo que nuestros ojos ven a causa de la interferencia que originan las partículas con la luz (dispersan la luz, disminuyen el contraste y absorben la luz).

En la tabla 3.3 se muestran la concentración de partículas y el valor estimado en kilómetros que se reduce la visibilidad según la organización mundial de la salud, la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos y la Unión Europea (Hyslop, 2009). Sin embargo, se tendría que elegir un punto de referencia mediante el cual se puede comparar la visibilidad día con día, con el objetivo de evaluar la calidad del aire en esta zona.

PM2.5	Agencia	Concentración PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reducción de visibilidad (Km)
Promedio anual	USEPA	15	48
Promedio anual	WHO	10	67
Promedio diario	USEPA	35	23
Promedio diario	EU/WHO	25	31

EU: Unión Europea (2007), WHO: Organización mundial de la Salud (2005)

3.3.5.2 Agua

La importancia de los indicadores seleccionados, radica en los efectos que pueden ocasionar a la salud y al ambiente, de manera que actualmente se encuentran regulados en las normas oficiales mexicanas como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Agua- Límites máximos permisibles
(NOM-001-SEMARNAT-1996)

Contaminante	Protección a la vida acuática(c)		Uso en riego agrícola (B)	
	Uso público urbano			
	Promedio Mensual	Promedio Diario	Promedio Mensual	Promedio Diario
pH	5-10 unidades	5-10 unidades	5-10 unidades	5-10 unidades
Temperatura	40°C	40°C	40°C	40°C
Demanda bioquímica de oxígeno	30mg/L	60 mg/L	75 mg/L	150 mg/L
Nitrógeno total	15mg/L	25 mg/L	40 mg/L	60 mg/L
Fosforo total	5mg/L	10 mg/L	20 mg/L	30 mg/L
Coliformes totales y fecales	1000-2000 NMP/100ml	1000-2000 NMP/100ml	1000-2000 NMP/100ml	1000-2000 NMP/100ml

pH

El pH, es un buen parámetro de carácter general para determinar la calidad del agua e indica el comportamiento ácido o básico de la misma, es una propiedad de carácter químico de gran importancia para la vida acuática. El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno, que en un rango normal de 6 a 9 puede ser dañina para la vida acuática (por debajo de 7 el agua es ácida y por encima de 7 es alcalina) (Orozco, 2002).

La depositación ácida causada por el incremento de sulfatos y Nitratos ocasiona cambio incrementando algunos cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), lo cual hace que las aguas sean más alcalinas, afectando el crecimiento de los organismos, los bicarbonatos disminuyen, lo cual causa una reducción en la capacidad neutralizadora, el ion de hidrógeno se incrementa (disminuye en pH) y el aluminio afectando la biota acuática

Temperatura

La temperatura se consideró por ser una variable física que influye notablemente en la calidad del agua, ya que afecta directamente la solubilidad del oxígeno, cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, tensión superficial y desarrollo de organismos presentes en el agua.

Demanda bioquímica de oxígeno

Es un parámetro denominado como sustituto, porque abarca muchos compuestos y una medida global de la materia orgánica, es decir nos indica la concentración de materia orgánica biodegradable y se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua después de incubar una muestra durante 5 días a 20 °C.

Nutrientes (nitrógeno y fósforo)

Los compuestos de nitrógeno y fósforo, son especies necesarias para el crecimiento vegetal, por lo que reciben el nombre de nutrientes o bionutrientes y son suministrados a las plantas acuáticas gracias a diversos procesos naturales. Cabe mencionar que el enriquecimiento desmesurado del agua con estos nutrientes puede originar eutrofización (eutrófico significa bien nutrido), que ocasiona un incremento desmesurado de la población vegetal y una aceleración de los procesos naturales de eutrofización, de manera que se origina un grave problema de contaminación al producirse la descomposición vegetal, ya que se induce una disminución drástica del oxígeno disuelto, lo que puede acabar con los organismos que habitan en ese medio.

3.3.5.3 Suelo

La importancia de incluir este componente radica, en el impacto ambiental que se está ejerciendo sobre el suelo originando severos problemas ambientales, como riesgos sobre la salud humana, limitación de uso y degradación de suelos contaminados. Dicha contaminación puede ser el resultado de actividades

industriales, agrícolas o de servicios.

Hidrocarburos

La contaminación de suelos por hidrocarburos ha cobrado importancia como consecuencia de requerir remediar los suelos a condiciones aceptables y para esto sin, es necesario saber hasta qué grado se han afectado. Si existe la presencia de materiales o residuos peligrosos deberán llevarse a cabo acciones necesarias para recuperar o restablecer las condiciones del sitio, evitar su acumulación y se depositen o infiltren en los suelos, así como realizar el, manejo y disposición final de los mismos.

Por lo anterior se incluirán los hidrocarburos (fracción ligera, fracción media y fracción pesada) como parte del programa utilizando como línea base los límites establecidos en la norma oficial mexicana “NOM-138-SEMARNAT/SS-2003” que establece los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación como se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Suelo- Límites máximos permisibles
(NOM-138-SEMARNAT/SS-2003)

Componente	Contaminante	Limite permisible		
		Agrícola	Residencial	Industrial
Suelo	Ligera	200	200	500
	Media	1200	1200	1200
	Pesada	300	300	600

Unidades: mg/kg base seca
Fuente: NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

Plaguicidas

La importancia de los plaguicidas orgánicos sintéticos radica en que son peligrosos para los suelos en función de su persistencia y toxicidad, así como su posible bioacumulación. Son compuestos que pueden sufrir transformaciones químicas, degradaciones biológicas, retención de partículas edáficas o lixiviación a los acuíferos en función de su naturaleza química, la constitución del suelo y la concentración de microorganismos en el mismo.

Tabla 3.6 SUELO.- Limites admisibles

Plaguicidas	Contacto directo	Consumo de sp. vegetales
Aldrin	50	0.1
Dieldrin	50	0.1
Clordano	250	0.1
Paracuat	2000	1000
DDT	10000	1000

Unidades mg/Kg md suelo
Fuente: FAO, 2000

3.3.5.4 Flora y fauna

Para seleccionar los indicadores se utilizó el número de especies establecidas en la norma oficial mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2001) que establece las especies que están bajo alguna categoría de riesgo (probablemente extinta en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazada y sujeta a protección especial). ANEXO 1 Y 2.

3.3.5.5 Residuos

Es de importancia considerar la variable de residuos, ya que la RBC, se encuentra en un área sin un control adecuado, donde las comunidades aun no cuentan con algún sitio de disposición final de residuos o un relleno sanitario. La generación de RSU per cápita estimada es de 0.39 kg /habitante día, con un peso volumétrico estimado de 101.59 kg /m³ (SEMARNAT, 2008).

Tabla 3.7 Generación de Residuos y Cobertura del servicio de limpia por municipio

	Población ¹	Ton/día	Colecta	Cobertura	Tipo de Relleno ²
Calakmul	23,814	9	2	21.5	D
Campeche	754,730	684	466.5	68.2	A

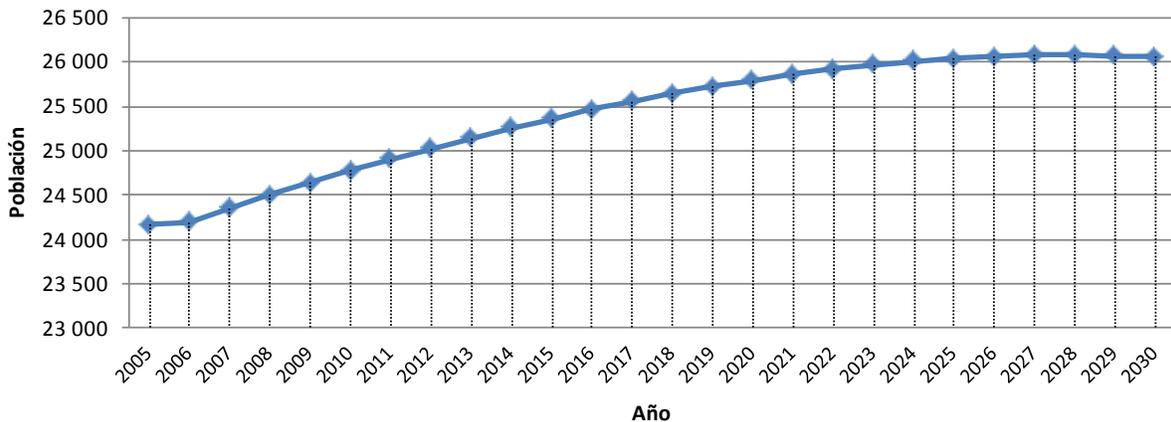
¹Conteo de Población y Vivienda 2005, INEGI
² Categorías de los sitios de disposición (NOM-083-SEMARNAT-2003) ANEXO 3
Tipo A= Tonelaje recibido Mayor a 100 Ton/día
Tipo D= Tonelaje recibido Menor a 10 Ton/día

3.3.5.6 Población

El crecimiento de la población constituye una herramienta útil para la planeación, ya que permite ubicar la agregación geográfica, las demandas

sociales y económicas de la población. Dicho crecimiento en el municipio de Calakmul, Campeche tiene como consecuencia asentamientos humanos dentro y fuera de la RBC, incremento de actividades agrícolas, ganaderas, turísticas, entre otras.

La dinámica poblacional del municipio de Calakmul ha sido fluctuante, aunque tuvo un rápido crecimiento a partir de los 80's. En ese tiempo se fundaron 60 comunidades y a comienzos de los 90's se sumaron 18 más. Actualmente en las comunidades se registran inmigraciones, además de una alta tasa de fecundidad. En la figura 3.5 se muestra la proyección de la población del municipio de



Calakmul, Campeche del año 2005 al 2030 (CONAPO,2008).

Figura 3.5 Proyección de la población 2005 a 2010 del municipio de Calakmul, Campeche (Fuente: CONAPO, 2008)

3.3.7 Índice de calidad ambiental

Como parte del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo se diseñó un índice de calidad ambiental para la RBC para poder evaluar la calidad ambiental antes o después del establecimiento de nuevas fuentes de contaminación o modificaciones de las ya existentes. Por lo tanto utilizando el coeficiente de ponderación (C_{p_i}) y la gráfica de calidad ambiental para cada indicador (C_{a_i}), se diseñó un índice de calidad ambiental conformado por 23 indicadores representativos de la calidad ambiental de la RBC para los

componentes agua, suelo, aire, flora, fauna y residuos tomando como referencias otros índices de calidad (Samboni, *et al.* 2007; Pérez, *et al.*, 2008).

Los valores que representa la calidad ambiental (C_{ai}) se obtuvieron aplicando las funciones de transformación adecuadas para el comportamiento de cada indicador. Para el coeficiente de ponderación (C_{pi}) se tomó como base el método de Battelle Columbus, de manera obtuvo mediante el designando valores de acuerdo a la importancia que representa los componente e indicadores ambientales dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul), además se consideró el grado de alteración de cada componente e indicador dentro del RBC, que se obtuvo al aplicar la matriz de Leopold utilizada para la identificación de impactos ambientales.

3.3.7.1 Método de Battelle Columbus

Para determinar los coeficientes de ponderación (C_{pi}) se utilizó como referencia el método de Battelle, se establecieron cuatro niveles de información progresiva: categorías, componentes e indicadores ambientales Tabla 3.8. Para esto, se realizó una lista de indicadores de impacto que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente que debe ser considerado por separado.

Tabla 3.8 Niveles de información progresiva

Categorías	Componentes	Indicadores	Parámetro
General	Intermedia	Especifica	Muy específica

Estos indicadores se ordenaron por niveles, el primero en categorías que representa grandes agrupaciones con dominios similares, los componentes que están comprendidos en grupos de variables similares (agua, aire, suelo vegetación, etc.), los indicadores representan unidades o aspectos significativos del ambiente (metales, hidrocarburos, etc.) y un parámetro es la medida correspondiente a los datos que son necesarios para estimar indicadores correctamente.

Para determinar las medidas ambientales de las variables que corresponden a los componentes agua, aire y suelo se utilizaron como línea base las normas oficiales

mexicanas vigentes y para el componente flora, fauna y la variable socio-económica (residuos) se utilizaron referencias bibliográficas y datos estadísticos.

Por lo tanto, las variables quedan organizadas en 3 categorías, 5 componentes y 23 indicadores ambientales (ver figura 3.6) exclusivamente para el área de estudio que corresponde a la Reserva de la Biosfera de Calakmul, determinado para cada componente un valor de ponderación (C_pi).

MÉTODO DE BATELLE COLUMBUS

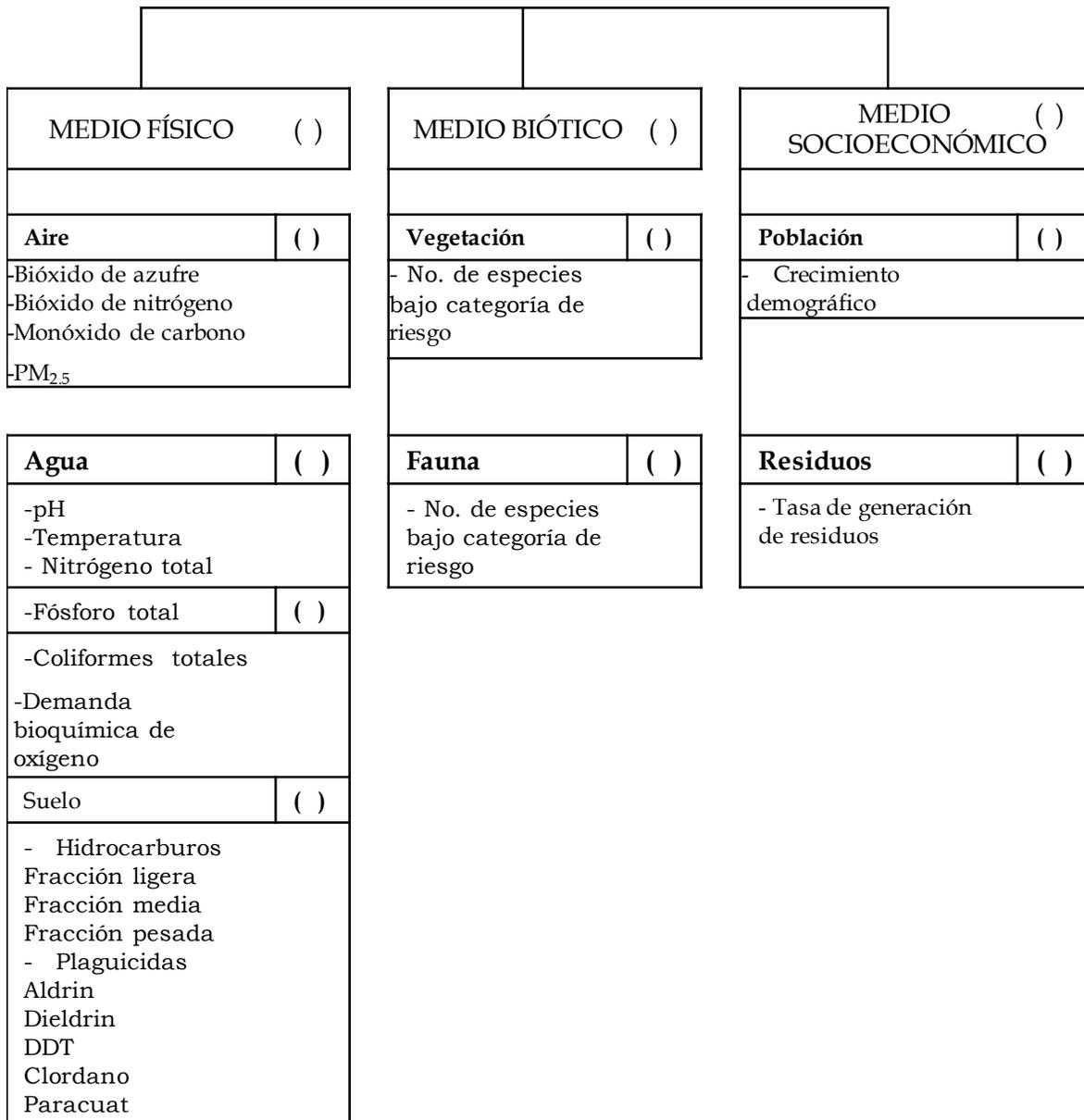


Figura 3.6 Ejemplo del método de Battelle Columbus modificado

3.3.6.2 Transformación de los datos en unidades de impacto ambiental (UIA)

Después de obtener la lista de indicadores (variables), se establece un sistema en el que ellos se lleguen evaluar en unidades de impacto ambiental (UIA), representando valores que, en lo posible, serán resultados reales, el procedimiento para la transformación de los datos obtenidos (parámetros ambientales) en estas unidades comparables fue el siguiente:

1. Se transformaron los datos (parámetros ambientales) de cada uno de los indicadores en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental. Para esto, se examinó información sobre cada indicador ambiental, tanto científica, legal y aspectos sociales del mismo, de esto se obtuvo el mayor valor posible (un valor máximo, por ejemplo 1) del indicador que se considera como crítico y el menor valor posible (valor mínimo, por ejemplo 0), en la tabla 3.9 se describen los valores máximos y mínimos para cada indicador.
2. En el eje de las abscisas (x) se sitúan los valores Máximo y Mínimo y se marca la escala y después en el eje de las ordenadas (y) se sitúa el 0 y el 1, marcando también una escala, como se muestra en la figura 3.7.
3. Las funciones de transformaciones aplicadas se eligieron considerando al comportamiento de cada indicador ambiental.

Dichas funciones de transformación, dependiendo del indicador ambiental tienen las siguientes posibilidades: puede ser creciente, con lo que la función debe pasar por (Mín., 0) y (Máx., 1), que la función sea decreciente y deba pasar por (Mín., 1) y (Máx., 0), o que alcance un máximo o un mínimo en un valor, x, intermedio. Se marcan dos puntos. Estas funciones pueden ser de varias formas:

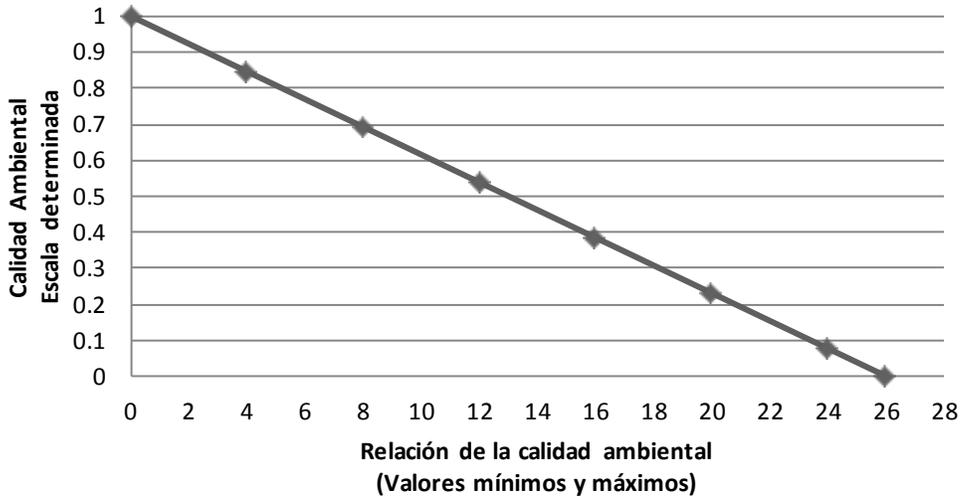


Figura 3.7 Ejemplo de aplicación de una función de transformación (Fuente: Abellan, 2006)

- a. Una recta, si ambas magnitudes son proporcionales
- b. Una parábola que varía rápidamente para valores bajos de la magnitud y lentamente para valores altos.
- c. Una parábola que varía lentamente para valores bajos de la magnitud y rápidamente para valores altos.
- d. El impacto varía rápidamente en los extremos y lentamente en el centro.
- e. El impacto varía lentamente en los extremos y rápidamente en el centro
- f. El crecimiento del impacto no es continuo y la función de transformación es una función de escalera, con saltos para determinados valores.
- g. Existe un umbral a partir del cual el impacto no es aceptable.
- h. La función de transformación no es siempre creciente ni decreciente, sino que alcanza para un valor intermedio del indicador máximo o un mínimo (eje. una función que presenta un mínimo intermedio).

Una vez homogenizadas las unidades, se designaron los incrementos permitidos para los indicadores establecidos, es decir, un valor de concentración que quedara permitido incrementar en cada una de las zonas (Clase 1. Zonas núcleo y Clase 2. Zonas de amortiguamiento), estos valores se determinaron siguiendo el criterio de la metodología de prevención del deterioro significativo establecido por

la EPA.

Tabla 3. 9 Medidas Ambientales (valores máximos y mínimos)

Medio o Categorías ambientales	Componentes ambientales	Indicadores ambientales	Medidas Ambientales (Valor máximo y mínimo)
Físico	Aire	Ozono	0 – 0.11ppm
		Bióxido de Azufre (SO ₂)	0-0.13 ppm
		Bióxido de Nitrógeno (NO ₂)	0-0.21 ppm
		Monóxido de Carbono (CO)	0-11 ppm
		Partículas PM _{2.5}	0-60 µg /m ³
Físico	Agua	pH	5-10
		Temperatura	20-40 °C
		Demanda Bioquímica de Oxígeno	0-60 mg/L
		Nitrógeno total	0-25 mg/L
		Fosforo total	0-10 mg/L
		Coliformes totales	0-1000/2000NMP/100m l
		Hidrocarburos	
Físico	Suelo	-fracción ligera	0-200 mg/kg base seca
		-fracción media	0-1200 mg/kg base seca
		-fracción pesada	0-3000 mg /kg base seca
		Plaguicidas	
		-Aldrin	0-0.1 mg/kg suelo
		-Dieldrin	0-0.1 mg/kg suelo
		-Clordano	0-0.1 mg/kg suelo
		-Paracuat	0-1000 mg/kg suelo
		-DDT	0-1000 mg/kg suelo
		Biótico	Vegetación
Biótico	Fauna	Especies bajo protección especial	143 especies
Socio-eco nómico	Residuos Población	Tasa de generación	0.39 -0.67kg/hab /día
		Crecimiento demográfico	24162 hab- 26076 hab

3.3.7 incrementos permitidos del PDS

Para calcular los incrementos permitidos en el programa de deterioro ambiental significativo de la RBC, inicialmente se seleccionaron los indicadores considerando el arboles de acciones y de factores, así como la aplicación del método de Battelle Columbus, en donde se considera la importancia relativa de cada componente o indicador y la sumatoria de impacto individual muestra el impacto global. Posteriormente se designaron los incrementos permitidos para los indicadores y cada una de las clases, quedando de la siguiente manera para la

zonas núcleo únicamente quedara permitido un incremento del 6.6 % del total de la concentración establecida como límite máximo permisible en las Normas Oficiales Mexicanas y en el caso de las zonas de amortiguamiento corresponderá a 25 % de la concentración establecida como límite máximo permisible en las Normas Oficiales Mexicanas. Debido a las características de las variables de pH y temperatura no es posible establecer un incremento, al igual que para las variables de flora y fauna, por lo que únicamente se establece no rebasar los límites máximos permitidos o no afectar las especies que se encuentra bajo alguna categoría de riesgo.

3.3.8 Recomendación de medidas de mitigación y prevención

Como parte del Programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo, se propusieron una serie de medidas de prevención y mitigación que pueden aplicar después del establecimiento de las nuevas fuentes de contaminación o modificaciones de las existentes con el propósito de evitar el incremento en la concentración de los contaminantes establecidos en este programa.

CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.-DISCUSION Y RESULTADOS

Es importante señalar que en el presenta trabajo se proponen los bases y lineamientos para establecer un Programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo. Un programa de este tipo debe ser realizado por un grupo experto multidisciplinario debido a que se consideran distintos componentes ambientales (agua, aire, suelo, flora, fauna y residuos). En virtud de que no se dispone de un grupo de trabajo, se realizó la interpretación más cercana a la realidad.

4.1 ANÁLISIS DEL ENTORNO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL

De la recopilación de información bibliográfica se seleccionó la información necesaria para el desarrollo y bases el diseño del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo de la reserva de la biosfera de Calakmul. De dicha selección se estudiaron documentos de gran importancia para el desarrollo del proyecto de tesis como: Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul; Plan de conservación de Calakmul, Balankin y Balankú; el Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Calakmul, Campeche; el Atlas de Ordenamiento Territorial de Estado de Campeche y cartas temáticas de INEGI.

A partir de la información bibliográfica, artículos de investigación, documentos oficiales como el programa de manejo de la reserva de la biosfera de Calakmul y de cartas temáticas de INEGI se describieron los factores bióticos y abióticos de la zona de estudio.

4.1.3 Estudio demográfico

La principal problemática que se encontró es el establecimiento de localidades dentro y fuera de la Reserva de la biosfera de Calakmul, con el consiguiente incremento de población y demanda de servicios.

A través de un análisis de población y de la aplicación de un sistema de información Geográfica (SIG), se evaluó el incremento de localidades ubicadas dentro de la Reserva de la Biosfera de Calakmul. En la actualidad, el desarrollo

de tecnologías de información geográfica enriquece las metodologías para la realización de estudios de impacto ambiental en la medida en que se facilita el tratamiento de variables espaciales, en que aumenta la flexibilidad de procesos y posibilitan la utilización de modelos para predecir y valorar impactos.

De las imágenes se observó que para el año de 1990 había 26 localidades dentro de la RBC, en el año 2000 incremento a 36 localidades y para el año 2005 aparentemente disminuyó a 31 localidades. Esto se puede deber a que los habitantes trabajan y viven de manera temporal en esas zonas (figura 4.1,4.2 y 4.3).Sin embargo, se reportar que el rápido crecimiento poblacional experimentado por la zona fronteriza y sobre todo en los municipios de aledaños, el ambiente no es el más adecuado para la colonización humana.

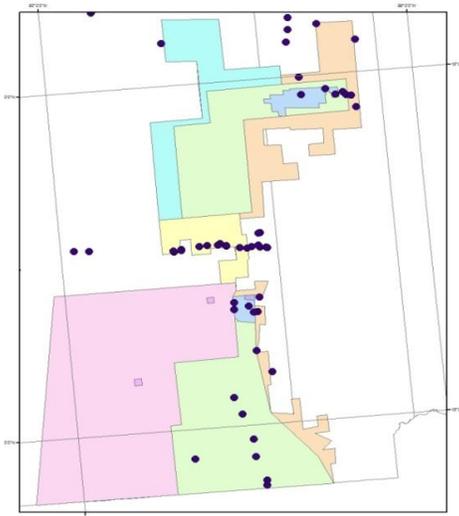


Figura 4.1 Localidades dentro de la RBC. Fuente: Censo de población y vivienda 1990.

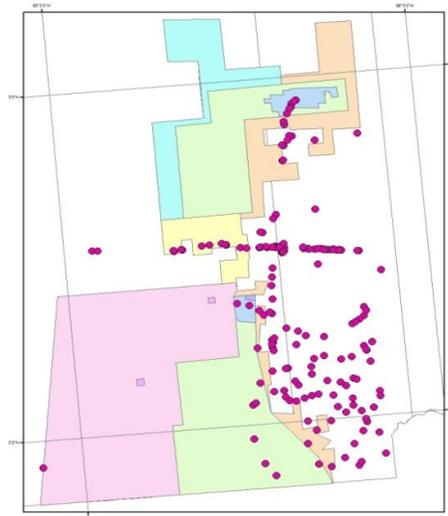


Figura 4.2 Ubicación de localidades dentro de la RBC. Fuente: Censo general de población y vivienda 2000.

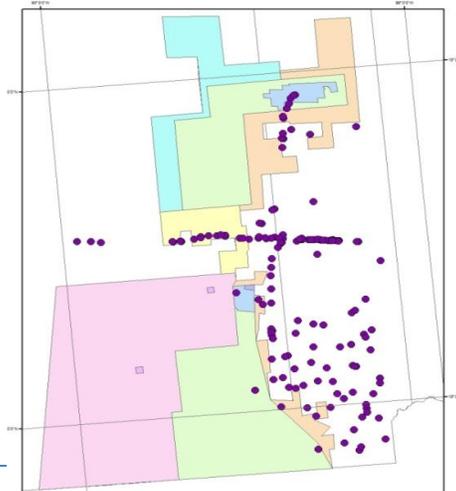


Figura 4.3 Ubicación de localidades dentro de la RBC. Fuente: Censo general de población y vivienda 2005.

4.1.2 Identificación de impactos ambientales

Para diseñar el programa primero se realizó un análisis de la problemática ambiental mediante la identificación de los impactos potenciales que se presentan en la zona y por lo tanto fue necesaria la selección de los componentes ambientales que interactúan en el medio. Se elaboró un árbol de factores, un árbol de acciones y posteriormente se aplicó la matriz de Leopold modificada a las características de la RBC.

4.1.2.1 Árbol de factores (Tabla 4.1)

Tabla 4.1 Árbol de factores ambientales				
Sistema	Medio	Componente	Factor ambiental	Indicador Ambiental
Biofísico/ natural	Físico	Aire	Calidad del aire	Ozono (O ₃) Bióxido de Azufre (SO ₂) Bióxido de Nitrógeno (NO ₂) Monóxido de Carbono (CO)
			Visibilidad	Partículas PM _{2.5}
Biofísico/ natural	Físico	Agua	Calidad del agua	Temperatura Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Nitrógeno total
			Geohidrología	Fosforo total Coliformes totales Hidrocarburos -fracción ligera -fracción media -fracción pesada
Biofísico/ natural	Físico	Suelo	Calidad	Plaguicidas
			Relieve	-Aldrin -Dieldrin
			Geología	-Clordano -Paracuat -DDT
Biofísico/ natural	Biótico	Vegetación	Abundancia Diversidad Especies bajo protección	Especies en bajo protección especial
Biofísico/ natural	Biótico	Fauna	Abundancia Diversidad Especies bajo protección	Especies en bajo protección especial
Socio/ económico	Cultural	Socio-económico	Residuos Población	Tasa de generación de residuos Crecimiento demográfico (Proyección de la población)

Fuente: Gómez Orea , 2002

4.1.2.2 Árbol de acciones (Tabla 4.2)

Mediante el árbol de acciones se identificaron las principales acciones que afectan la calidad ambiental de la RBC como se muestra en la tabla 4.2.

ACCIONES
Desmonte
Despalme
Relleno, excavaciones y cortes
Pavimentación
Construcción de edificaciones
Extracción de especies forestales
Extracción de especies de fauna
Aplicación de plaguicidas ,fertilizantes y pesticidas
Incendios
Pastoreo
Suministro de agua potable
Disposición de residuos sólidos
Manejo y disposición de aguas residuales
Asentamientos humanos dentro de la RBC
<i>Referencia: Gómez Orea, 2002</i>

Las carreteras y caminos desde la creación de la reserva han sido un problema ya que dos de las principales rutas de acceso al área protegida atraviesan cada una de las dos zonas núcleo de Calakmul, originando acciones como el desmonte y despalme dentro de la RCB. Otro aspecto a considerar es que el mal diseño de la RBC debido a que una de las principales zonas de conservación se encuentra limitado por varios ejidos.

Además que actualmente existe proyectos turísticos para los cuales se tiene contemplado abrir una carretera que conectaría a la cabecera municipal de Calakmul “Xpujil” con Tikal una zona arqueológica en Guatemala, sin embargo este proyecto fue detenido pero aún se comienza a establecer pequeños hoteles o paraderos turísticos que propician el desmonte, despalme, pavimentación, construcción de edificación y a su vez disposición de residuos y de aguas

residuales.

Lo anterior a pesar que en la región de Calakmul sufre de escasez de agua, y la poca que hay (donde se encuentran los asentamientos humanos), se utiliza para proveer a los servicios turísticos. La industria del turismo en la zona se encuentra en una fase de crecimiento, por lo que la demanda de servicios también ha aumentado y se han creado expectativas para la gente local, así como para nuevos inmigrantes. El alto crecimiento poblacional observado a la fecha y la infraestructura de grandes hoteles que se pretenden construir, pueden llevar a una crisis de agua ya que no será posible cubrir las necesidades de los habitantes y de los prestadores del servicio.

La extracción de especies de fauna como puede ser la cacería de subsistencia que es una práctica que los habitantes de la región han realizado desde que llegaron a colonizar la selva, ahora esta actividad tiene fuertes impactos sobre la fauna por el alto crecimiento de la población. El 80 % de la caza es realizada por las comunidades y es destinada al autoconsumo, la proporción restante es con fines deportivos y por la cacería ilegal.

Otra presión es la extracción insostenible de madera, estas actividades forestales provocaron un auge de asentamientos y el crecimiento rápido de la población en el área, lo que, a su vez, causa un aumento en la deforestación intensiva y mayor presión sobre la vida silvestre nativa. Los mismos problemas existen actualmente dado que la población humana, en constante expansión, continúa despejando el terreno con fines ganaderos y agrícolas.

La agricultura tradicional de roza, tumba y quema es una actividad que produce impactos significativos en la selva mediana, ya que es en este tipo de vegetación donde se realiza la mayoría de las actividades humanas. La selva mediana representa uno de los recursos más importantes para la reserva y está siendo desmontada y quemada para limpiar la tierra que será ocupada por los cultivos. La agricultura en la zona es de bajo rendimiento por la baja fertilidad del suelo, además ya existen procesos de erosión y pérdida de suelo. Estos cambios de uso de suelo después dan paso a la ganadería extensiva. Adicionalmente la quema

que se practica al hacer uso de estos métodos de agricultura produce incendios forestales los cuales son una amenaza muy grave a la reserva.

Es importante resaltar que existen programas que promueven actividades que son incompatibles con la vocación de uso de la tierra, alterando de manera irreversible la calidad ambiental como ejemplo se tiene el Programa de Apoyo al Campo (PROCAMPO) que paga a los productores que puedan demostrar que en sus parcelas se está sembrando maíz, aunque se esté incentivando la tala para tierra de cultivo. La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) otorga créditos ganaderos que promueven la tala para la creación de pastizales. Es importante resaltar que la agricultura y ganadería tienen como consecuencia el uso de plaguicidas, fertilizantes y pesticidas

4.1.2.3 Impactos ambientales identificados

Se realizó una matriz para la identificación de los impactos ambientales presentes ó potenciales en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, en razón de las características, magnitud e importancia de las actividades, presentes, o futuras y a los criterios a ser aplicados (de calidad ambiental, de intensidad, de extensión, de temporalidad, de persistencia, de recuperación o reversibilidad, de la relación de causalidad, de interacción). Se presentan en la Tabla 4.3.

La matriz de Leopold, tal como ha sido presentada, es un método que puede ser aplicado en forma eficaz, y permite identificar los posibles impactos a partir de una visión del conjunto de las interacciones posibles. Además, esta matriz es de utilidad para la comunicación de los impactos identificados o esperados. En contrapartida, la metodología no evita la subjetividad en referencia a la cuantificación de los impactos, no permite visualizar las interacciones ni los impactos de un factor afectado sobre otros factores (relieve, formaciones vegetales, calidad del paisaje, etc.).

Los componentes ambientales que estructuran las matrices y que han sido definidos para el proyecto son los siguientes: aire, suelo, agua, flora, fauna, factores socioeconómicos y culturales. En cada interacción ambiental acción-

componente, se identificó el (los) impacto(s) y se indicó con un signo de (+ o -) su carácter, registrándose en el recuadro o casillero correspondiente de la matriz. Para la caracterización de los impactos tanto de naturaleza positiva como negativa se tienen una serie de criterios legales bien definidos, debido a su naturaleza y extensión, se consideraron la mayoría de ellos. En la matriz de identificación de impactos ambientales del proyecto se detectaron 36 impactos generados por el proyecto, 32 son negativos y 4 son positivos, que se describen en los siguientes párrafos.

Magnitud		TABLA 4.3 MATRIZ DE IMPACTOS AMBIENTALES														
Importancia																
COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL	Desmonte	Despalme	Relleno, excavaciones y cortes	Pavimentación	Construcción de edificaciones	Extracción de especies forestales	Extracción de especies de fauna	Aplicación de plaguicidas, y fertilizantes	Incendios	Pastoreo	Suministro de agua potable	Disposición de residuos	Manejo y disposición de aguas residuales	Asentamientos humanos dentro de la RBC	Total impactos por componente
AIRE	Calidad aire			-2/5						-					-8/10	
	Visibilidad									9/10						2
SUELO	Calidad				-6/7				-8/9		-5/6		-8/10		-8/10	
	Relieve		-8/9			-7/8										
	Geología			-6/6												8
AGUA	Calidad							-8/9				-8/10	-8/10	-8/10	-8/10	
	Geohidrología										-8/9					5
FLORA	Abundancia	-8/8													-8/10	
	Diversidad	-8/8														
	Bajo protección	-5/9					-8/10								-5/9	6
FAUNA	Abundancia							-8/8		-9/10					-8/10	
	Diversidad							-8/8								
	Bajo protección	-5/9						-5/9							-5/9	7
SOCIO-ECONOMICO	Economía / servicios				+8/9	+8/9					+5/5	-8/10			-8/10	
	Residuos					-5/8									-8/10	7 (5- y3+)
Total Impactos	Positivos	4	1	1	1	1	1	3	2	2	1	2	2	2	9	32
	Negativos			1		2					1					4
	Total															36

4.1.2.4 Descripción de los impactos identificados

A continuación se describen los impactos ambientales identificados en la Reserva de la Biosfera de Calakmul mediante la matriz de Leopold, con relación a las diferentes actividades que se desarrollan en la zona.

De manera particular, las acciones que originan los impactos ambientales en la zona son las quemas derivadas de las actividades agrícolas, la construcción de vías de acceso no planificadas (ver figura 4.4), agricultura, ganadería y pastoreo, uso de plaguicidas, disposición de residuos y descargas de aguas residuales domésticas (Ver figura 4.5).



Figura 4.4 Vías de acceso no planificados

Uno de los impactos significativos es a la calidad del suelo que se origina por las prácticas de quema para el establecimiento de cultivos temporales, así como la construcción de accesos no planificados, las actividades temporales de ganadería y pastoreo y disposición de residuos sólidos en sitios no adecuados.



Figura 4.5 a) letrinas b) disposición inadecuada de residuos sólidos municipales

La agricultura tradicional de roza, tumba y quema es una actividad que produce impactos significativos en las selvas, ya que este tipo de vegetación es donde se realizan la mayoría de las actividades humanas. Dicha vegetación representa uno de los recursos más importantes de la RBC que actualmente está siendo desmontada y quemada para realizar cultivos. Sin embargo, la agricultura en la zona es de bajo rendimiento por la baja fertilidad del suelo, además del proceso de erosión y pérdida de suelo derivada de las actividades de ganadería extensiva.

El uso de herbicidas e insecticidas altamente nocivos en las prácticas agrícolas intensivas pueden ocasionar efectos negativos en la flora y fauna regional (Galindo, 1999).

El desarrollo sin planeación de las carreteras y caminos ha sido y es un problema importante, debido a que las rutas principales de acceso al Área Natural Protegida atraviesan cada una de las zonas núcleo, lo que tiene como consecuencia la fragmentación de la cubierta forestal y la modificación del balance de agua. Se sabe que 99,247 hectáreas han sido deforestadas dentro de los 2.5 kilómetros de las carreteras principales (Sandler et al. 1998). Es importante tener en cuenta que el desarrollo de infraestructura turística, carreteras y hoteles es necesario pero debe de estar bien planeado para no afectar el ambiente natural que es una de las principales atracciones de la región.

Las amenazas más significativas son los incendios forestales y la deforestación (Ver figura 4.6), que responden principalmente al crecimiento poblacional y a las consecuentes demandas de los pobladores por el cambio de uso de suelo forestal a campos agrícolas y ganaderos, que a su vez afectan fuertemente a muchas de las especies de fauna que requieren del microhábitat creado por los árboles, ya que muchas especies utilizan huecos en los árboles como sitios de anidación o de refugio. La remoción de estos árboles limita el número de refugios para una gran cantidad de especies incluyendo pericos, tucanes, aves rapaces, murciélagos, marsupiales y otros mamíferos.



Figura 4.6 Extracción Forestal

Más de 160 especies de flora y fauna de la región de Calakmul se encuentran bajo protección especial, (NOM-059-SEMARNAT-2001), sin embargo, aunque son abundantes en la región, su estatus indica que muchas de ellas están siendo afectadas por la pérdida de hábitat o por la cacería y el comercio ilegal. Entre las especies vulnerables a estos impactos se encuentran los peces y anfibios. En las aguadas y ríos intermitentes se realiza la introducción de peces exóticos que a largo plazo puede traer consecuencias negativas como la depredación de las especies nativas, o la introducción de nuevas enfermedades, por consiguiente algunas especies de aves también pueden ser afectadas por las actividades que modifican a las aguadas.

Con respecto al componente agua, uno de los principales problemas de la zona es

la escasez en la región que incrementa la vulnerabilidad de los escasos cuerpos de agua superficial (lagunas y aguadas), además del uso de agroquímicos, el azolve y otros cambios hídricos relacionados con la deforestación que afectan severamente la calidad y el abasto de agua.

El abatimiento de cuerpos de agua, el manto freático y sus cauces acuíferos, así como el mal uso del recurso agua y su contaminación en el área de la Reserva son los principales impactos originados por el establecimiento irregular de las localidades dentro de la reserva (Ver figura 4.7)



Figura 4.7 Cuerpos temporales de agua superficial

El alto crecimiento poblacional observado hasta la fecha y la infraestructura turística que se pretende construir, puede llevar a una crisis de agua ya que no es posible cubrir las necesidades de los habitantes y de los prestadores de servicio.

Se consideran como impactos positivos la generación de empleos temporales que se generan durante las actividades de ganadería y agricultura temporal, ya que por las condiciones del suelo y escases de agua no es posible que sean actividades permanentes.

Analizando los impactos ambientales identificados se observa que los recursos naturales y la fauna que caracterizan a este sitio, en general se encuentran en

condiciones saludables, con algunos síntomas de impacto, pero al mismo tiempo las condiciones actuales de uso, así como las tendencias de desarrollo en el futuro próximo, amenazan seriamente la permanencia e integridad de la riqueza natural del sitio.

El sustento de este trabajo es el análisis de impacto ambiental, para el cual se considera la ausencia del equipo de expertos con que se debe contar, se adjunta la importancia de realizar estudios de este tipo, apoyándose normalmente con un equipo multidisciplinario de expertos que participe en la valoración del deterioro ambiental en áreas como la que se ejemplifica en esta tesis.

4.2 PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DEL DETERIORO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO (PSD) DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE CALAKMUL.

4.2.1 Introducción

Debido a que se reconoce la necesidad de compatibilizar el continuo crecimiento económico, con la equidad social, la protección y administración eficiente del medio ambiente, es necesario establecer límites permisibles para zonas de importancia natural y cultural como la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

El programa está diseñado para: proteger la salud pública y el bienestar; preservar, proteger y mejorar la calidad ambiental en las áreas naturales protegidas de México o sitios de valor recreativo; asegurar que el crecimiento económico se produzca de una forma compatible con la preservación de los recursos naturales existentes.

Este programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo se deberá aplicar cuando se establezcan nuevas fuentes de contaminación o se modifiquen las existentes que alteren la calidad ambiental. Por lo tanto, para cumplir con el PSD, se tendrá que realizar un análisis de evaluación de la calidad ambiental del área de estudio, monitoreo ambiental de fondo, establecer medidas de mitigación o aplicar la mejor tecnología disponible.

Mediante el establecimiento de este programa, no se permitirá un incremento

mayor al establecido en la concentración de los contaminantes en un espacio determinando, para evitar que ocurra el deterioro significativo o se rebasen los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas o legislación aplicable en materia de contaminación ambiental en las clases establecidas dentro de la RBC (Clase 1. zona núcleo y Clase 2 zona de amortiguamiento).

Es importante definir, que *el deterioro significativo* se presenta cuando la concentración de un contaminante excede lo establecido en el PSD de manera que afecte la zona. Y un *incremento en el PSD* es el aumento máximo permisible de la concentración que se autoriza por encima de una línea base para cada contaminante.

4.2.2 Meta del programa

Con la aplicación del programa no se permitirá un incremento en la concentración de los contaminantes mayor al establecido, de manera que se permitirá el crecimiento urbano-industrial en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, manteniendo los niveles de calidad ambiental adecuados para proteger la salud de la población, los ecosistemas y evitar la degradación de monumentos histórico-culturales existentes en la RBC.

4.2.3 Alcances del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo

Con la aplicación de este programa, se deberán evaluar las nuevas emisiones y fuentes de contaminación aplicando una metodología de evaluación de impacto ambiental. El propósito principal de la evaluación de la calidad ambiental será demostrar que las nuevas emisiones generadas en conjunto con otras emisiones ya existentes en el sitio de interés no causarán o contribuirán a la violación de las normas oficiales mexicanas o los incrementos establecidos en este programa. Como parte del diseño debe incluir una serie de medidas correctivas y de control que serán necesarias para evitar el deterioro de la RBC.

Cada evaluación de la calidad ambiental realizada será única, debido a las diversas fuentes de contaminación, así como a las distintas condiciones

meteorológicas y topográficas que pudieran estar involucradas. Dicha evaluación podrá incluir monitoreo ambiental o la aplicación de modelos de dispersión en caso de requerirlos. Por lo tanto para conocer la calidad ambiental de sitio se cuenta con un índice de calidad ambiental diseñado para la RBC.

Por lo tanto, a partir de la clasificación de las diferentes clases (zona núcleo y zona de amortiguamiento) que se establecieron para la aplicación de este programa, las fuentes de contaminación nuevas o las modificaciones ya existentes, deberán cumplir con los distintos requerimientos en cuanto a sus emisiones dependiendo del sitio en donde se vayan a localizar.

4.2.4 Criterios para la aplicabilidad del programa

Cuando se establezcan nuevas fuentes o se presenten modificaciones de fuentes ya existentes dentro de la RBC, se deben usar metodologías como el “Programa para la Prevención del Deterioro Ambiental Significativo”, que tiene como propósito mantener la calidad ambiental existente y evitar su deterioro. Por lo tanto, se deberá aplicar cuando:

- a) Se requiere preservar la buena calidad del ambiente, es decir, que las concentraciones medidas sean inferiores a las establecidas en las normas oficiales mexicanas en materia ambiental.
- b) El establecimiento de nuevas fuentes o una importante modificación en fuentes de contaminación ya existentes.

4.2.5 Clasificación de la RBC según su calidad ambiental

Se estableció un sistema de clasificación de áreas que difiere en términos de la cantidad de crecimiento que está permitido antes de que ocurra un deterioro significativo en la calidad ambiental de la RBC por lo que se establecieron 2 clases:

CLASE1 (Zona núcleo).-A la clase 1 corresponden las zonas núcleo de la RBC, en las que se permite un pequeño grado de deterioro en la calidad ambiental. En estas zonas únicamente están permitidas actividades orientadas a la investigación y conservación debidamente autorizadas.

CLASE 2 (Zonas de amortiguamiento).-A esta clase pertenecen la zonas de amortiguamiento de la RBC, donde se tiene autorizadas ciertas actividades, por lo que se permite una mayor cantidad de desarrollo debidamente controlado. En estas zonas se puede realizar cualquier actividad productiva que sea ambientalmente compatible con los objetivos de creación de la Reserva, además de la realización de actividades recreativas, productivas y de servicios, la instalación y mantenimiento de infraestructura urbana acorde con el Plan Municipal de Desarrollo de Calakmul, Campeche (2006-2009).

4.2.6 Aplicación del método de Battelle Columbus modificado

Mediante la aplicación de este método se ordenaron los componentes e indicadores de acuerdo a la alteración e importancia de cada uno en la RBC, de manera que se designó un valor de ponderación para cada medio, componente e indicador. De manera que el programa busca asegurar un enfoque no solo en la calidad del aire sino un enfoque integral que considere los elementos ambientales susceptibles de ser afectados o que originan la disminución de la calidad, para este proyecto se incluyó el componente agua, aire, suelo y el aspecto social y se eligieron las variables adecuadas para el diseño del PSD, como se muestra en la tabla 3.1.

4.2.7 Funciones de transformación (Gráficas de calidad ambiental)

En los siguientes incisos se muestran las gráficas obtenidas de la transformación de los datos en unidades ambientales comparables.

4.2.7.1 Aire

La función de transformación que se utilizará para determinar la contaminación del aire por SO₂, PST, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y CO, es de tipo lineal decreciente, que a medida que aumenta el valor en x (valor de concentración) disminuye el impacto (Garmendia, *et al.*, 2005). Por lo tanto la función que se utilizó es una recta que pasa por los puntos (Min 0) y (Máx 1):

Función aplicada:
$$Y = \frac{Máx - x}{Máx - Min}$$

Figura 4.8 Gráfica de calidad ambiental dióxido de azufre (SO₂)

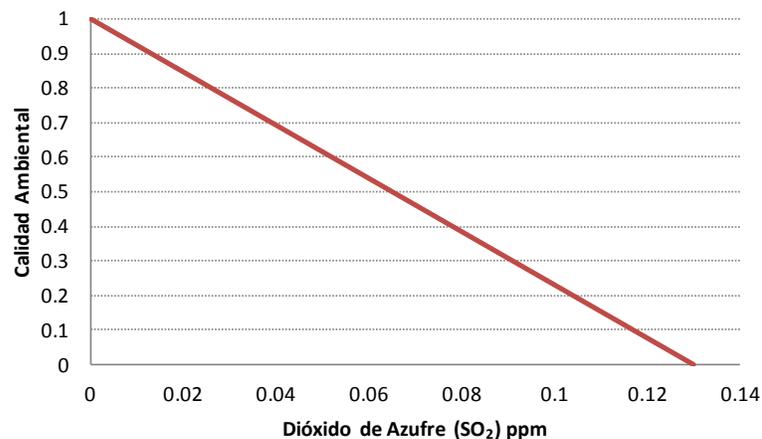


Figura 4.9 Gráfica de calidad ambiental partículas menores a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$)

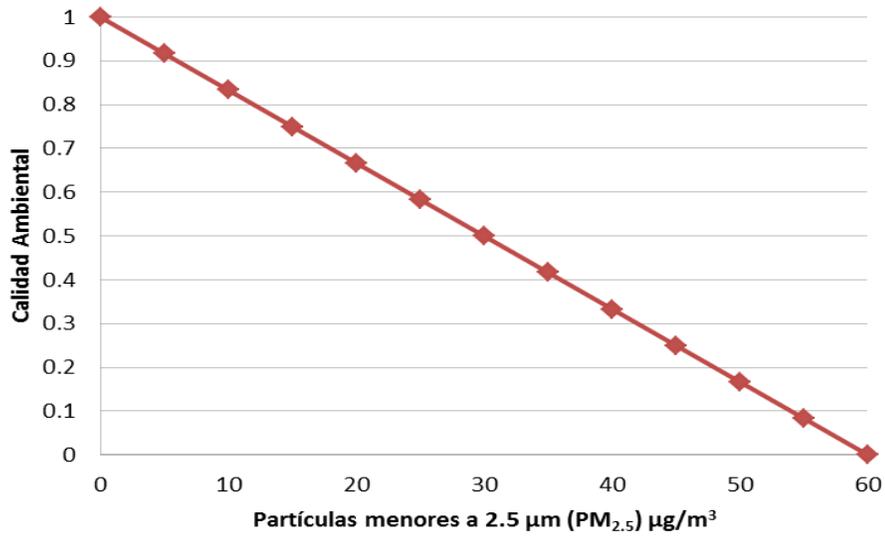


Figura 4.10 Gráfica de calidad ambiental dióxido de nitrógeno (NO_2)

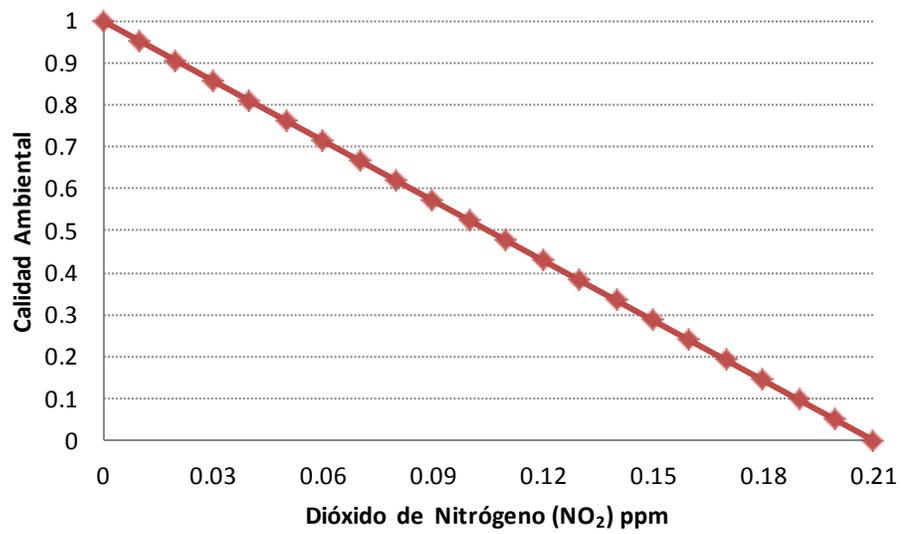


Figura 4.11 Grafica de calidad ambiental monóxido de carbono (CO)

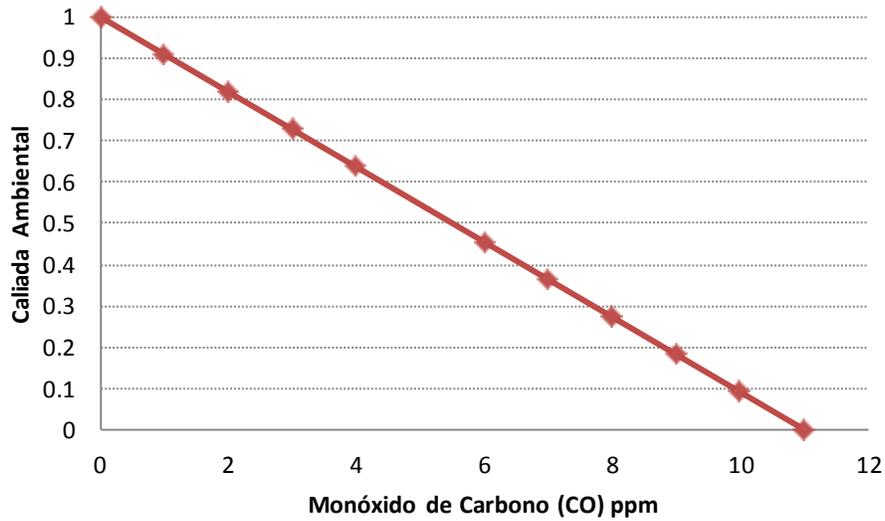
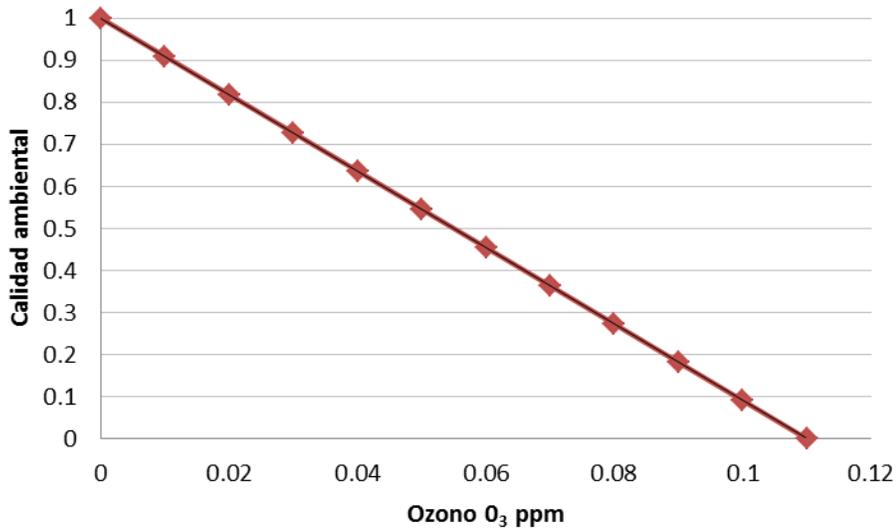


Figura 4.12 Gráfica de calidad ambiental ozono (O₃)



4.2.7.2 Agua

Para las variables pH y temperatura se aplicó una función parabólica de tipo 1 creciente, en donde “el impacto disminuye cuando la calidad ambiental aumenta” (Garmendia, *et al.*, 2005).

Función aplicada:

$$Y = \frac{-x + 2 * Máx * x + Mín^2 - 2MáxMín}{(Máx - Mín)^2}$$

Figura 4.13 Gráfica de calidad ambiental potencial de hidrógeno (pH)

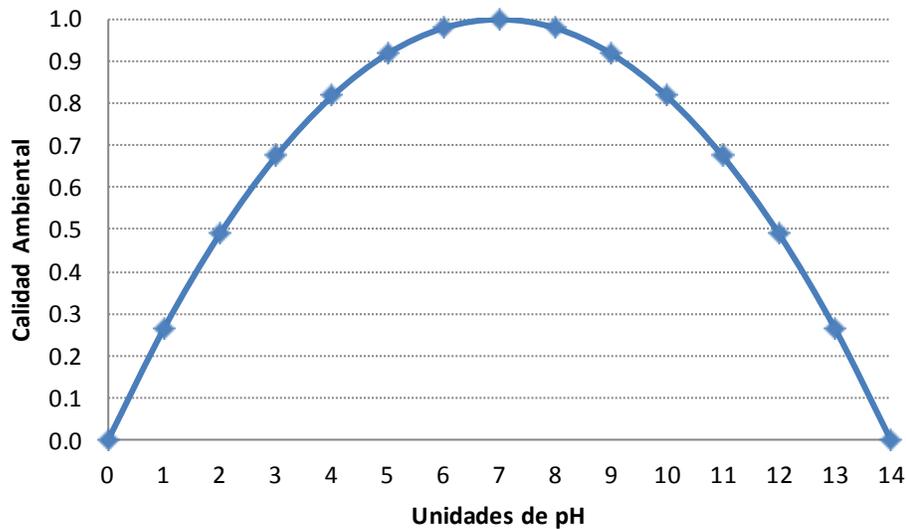


Figura 4.14 Gráfica de calidad ambiental Temperatura (T °C)

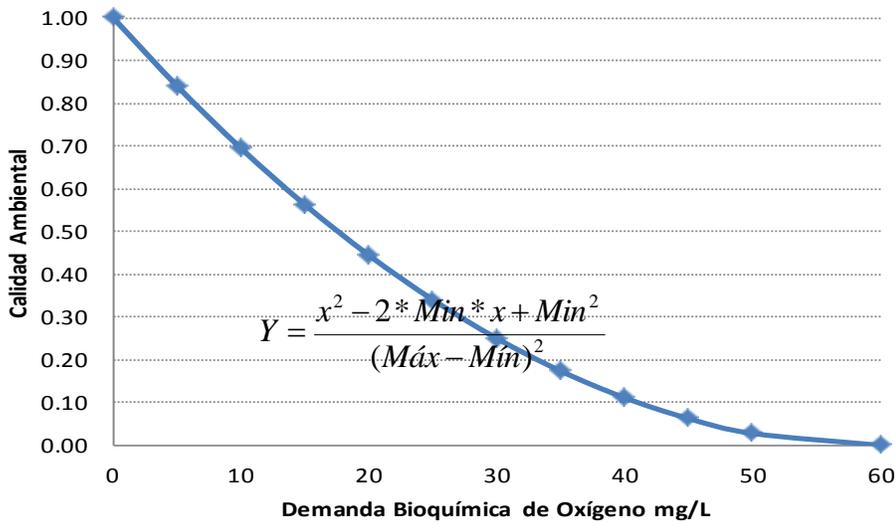
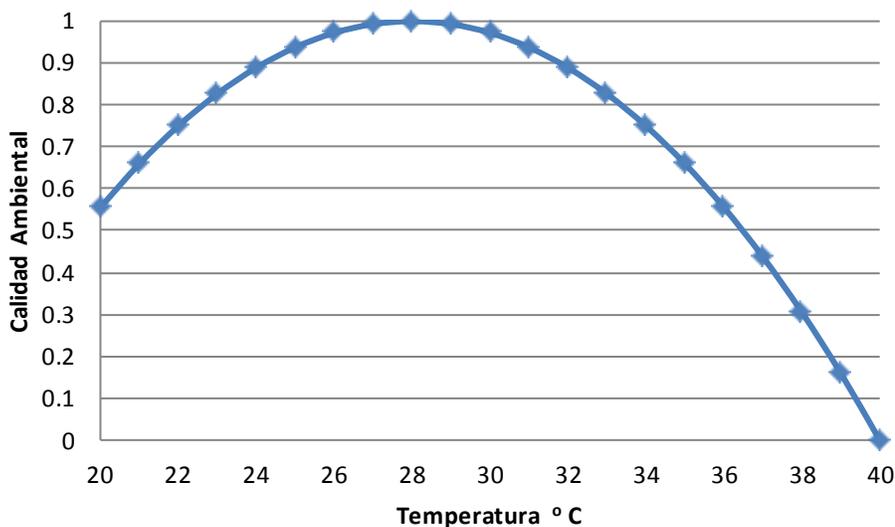


Figura 4.15
Gráfica de
calidad
ambiental
Demanda
Bioquímica
de Oxígeno
(DBO)

Para la
demanda

bioquímica de oxígeno, se utilizó una función parabólica de tipo 1 decreciente, que disminuye rápidamente para valores de indicadores pequeños y lentamente para grandes y la función utilizada fue (Garmendia, *et al.*, 2005):



Función
aplicada:

Figura 4.16 Gráfica de calidad ambiental Fósforo Total

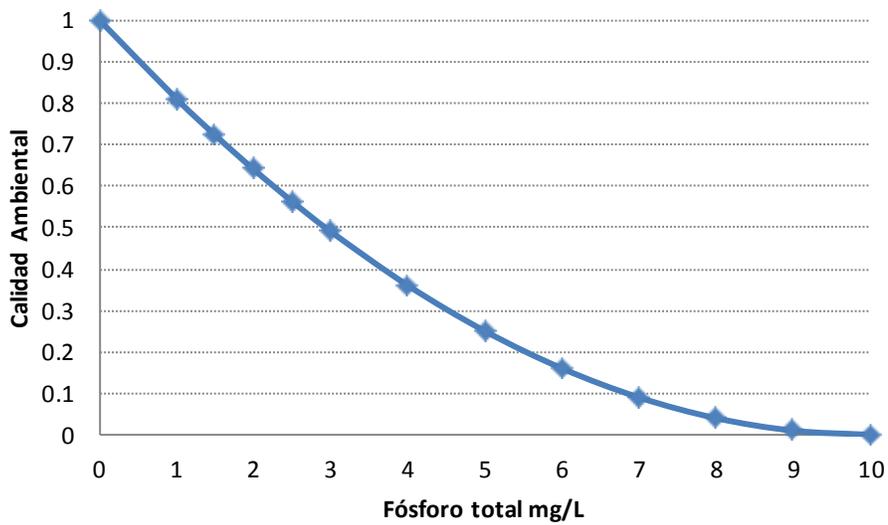
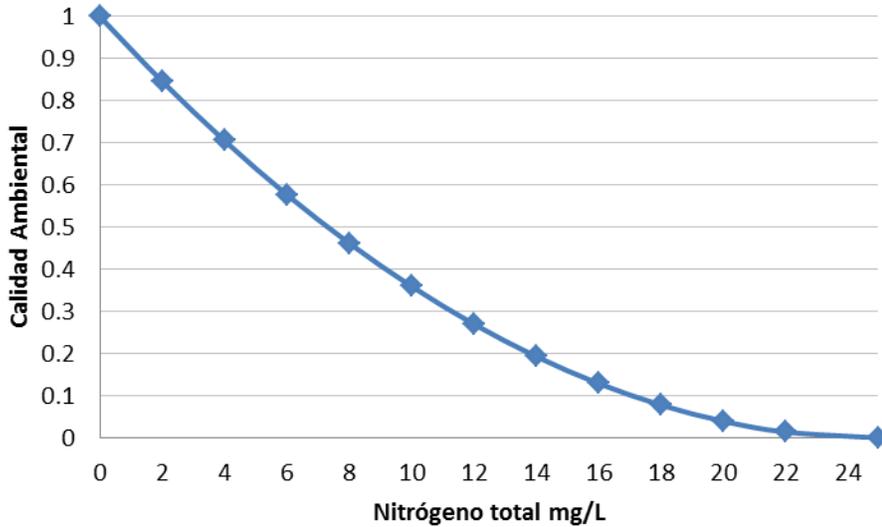


Figura 4.17 Gráfica de calidad ambiental Nitrógeno total

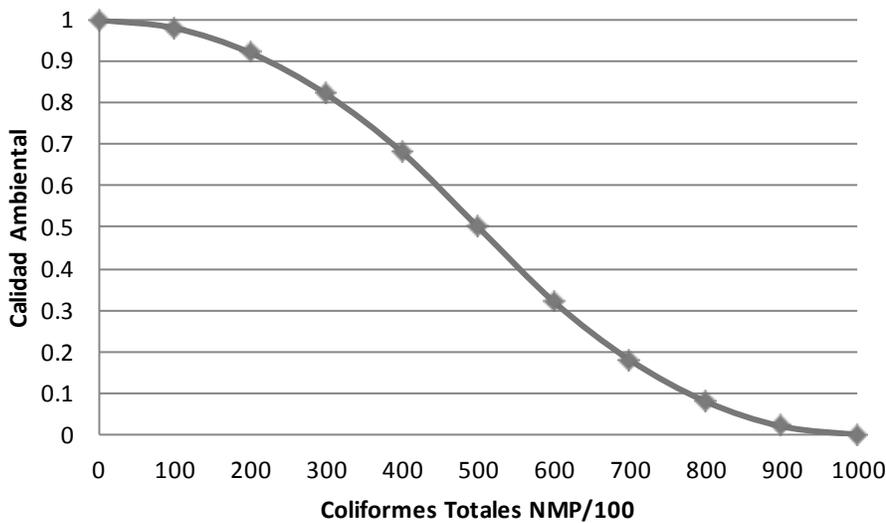


Figura

4.18 Gráfica de calidad ambiental *Coliformes totales*

La función de transformación para Coliformes Totales corresponde a una función decreciente con dos parábolas (Garmendia, *et al.*, 2005).

Función aplicada $Y = \begin{cases} \frac{-x^2 + 2 * M\acute{a}x * x - 2M\acute{a}x}{(A - M\acute{a}x)^2} + 1 & M\acute{a}x \leq x \leq A \\ \frac{x^2 - 2 * M\acute{a}x * x + M\acute{a}x^2}{(A - M\acute{a}x)^2} & A \leq x \leq A \end{cases}$



4.2.7.3

Suelo

Para las variables de suelo, también se utilizó una función lineal decreciente, que a medida que aumenta el valor en x (valor de concentración) disminuye el impacto. Por lo tanto la función que se utilizó es una recta que pasa por los puntos (Min 0) y (Máx., 1) (Garmendia, *et al.*, 2005):

Función aplicada:

$$Y = \frac{Máx - x}{Máx - Min}$$

Figura 4.19 Gráfica de calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Ligera

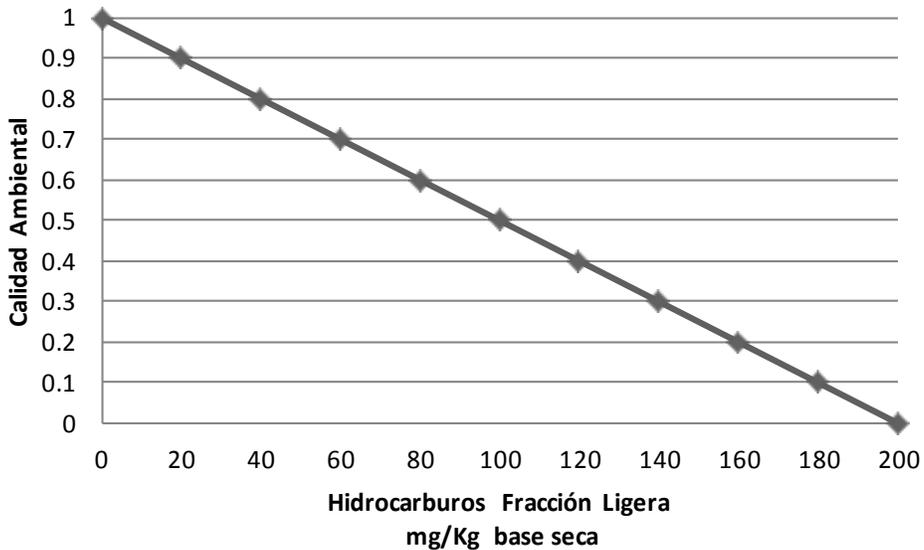


Figura4.20 Gráfica de calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Media

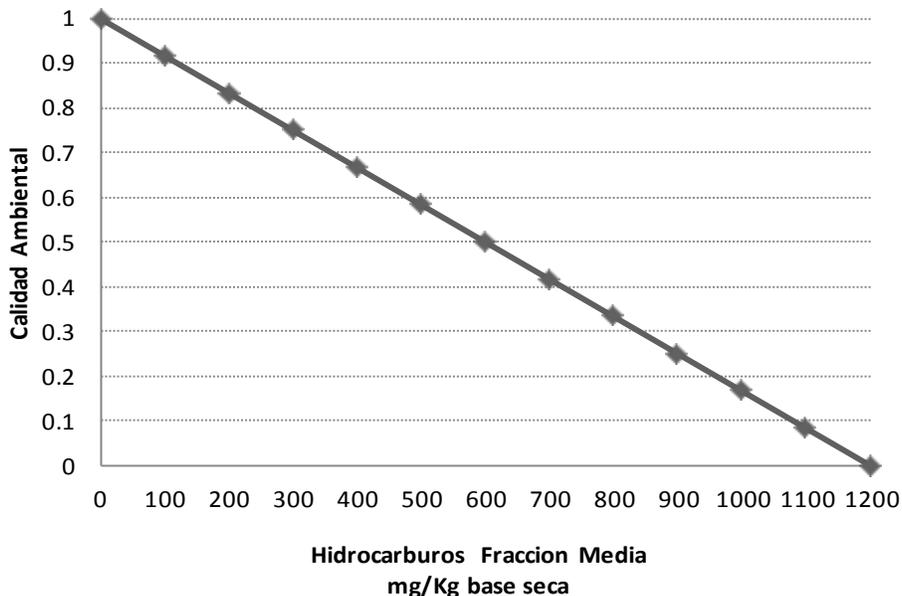


Figura 4.21 Gráfica calidad ambiental Hidrocarburos Fracción Pesada

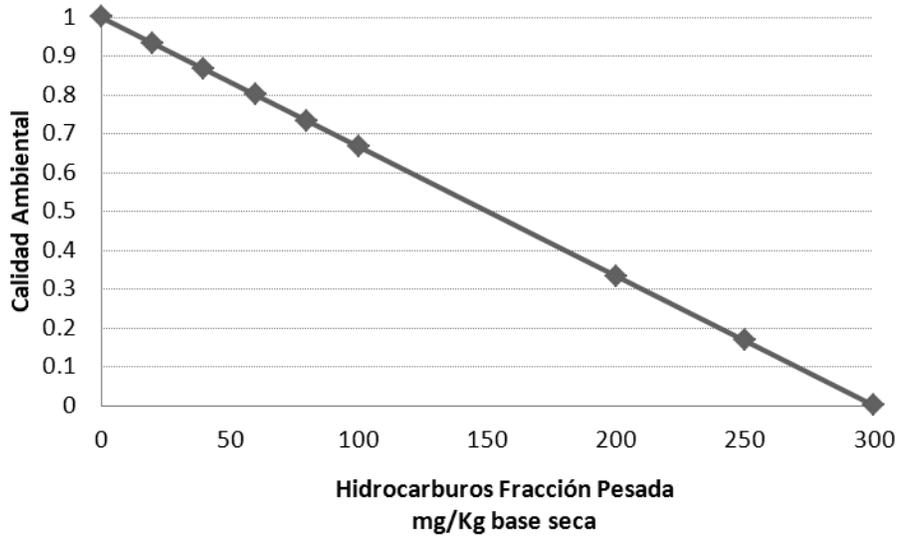


Figura 4.22 Gráfica de calidad ambiental Plaguicidas

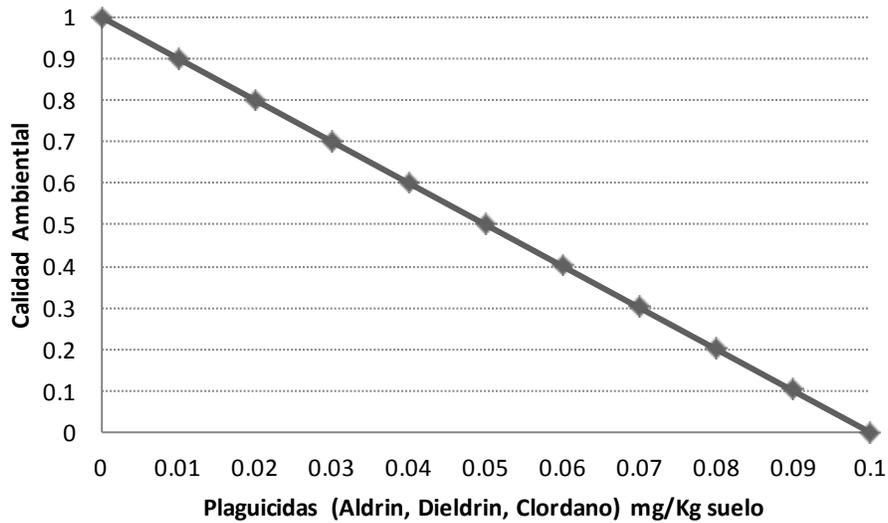
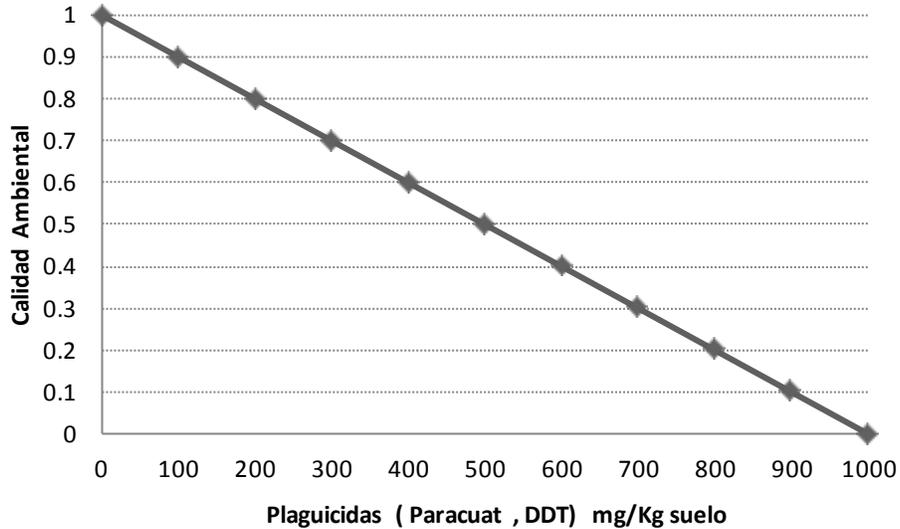


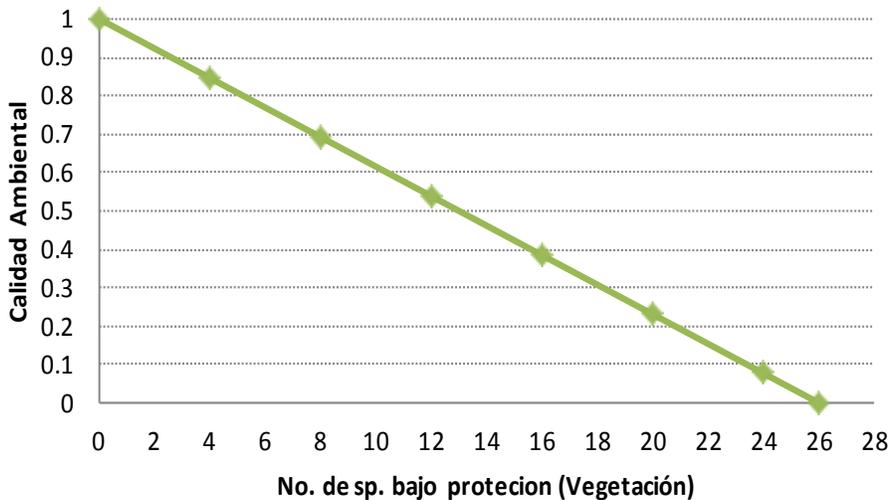
Figura 4.23 Gráfica de calidad ambiental Plaguicidas



4.2.7.4 Flora y Fauna

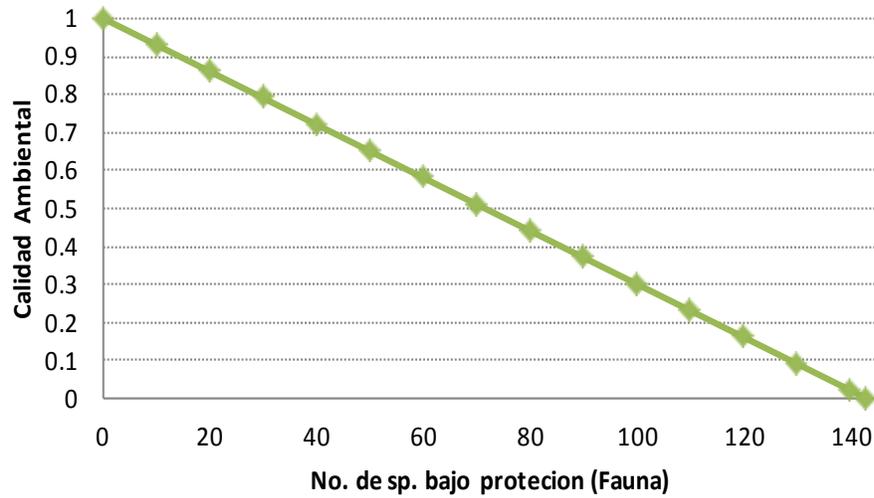
Para el componente de flora y fauna también se utilizó una función de transformación lineal decreciente ya que al aumentar el valor de la magnitud es decir el número de especies bajo protección especial, mayor será el impacto producido (Garmendia, *et al.*, 2005).

Figura 4.24 Gráfica de calidad ambiental flora



Figura

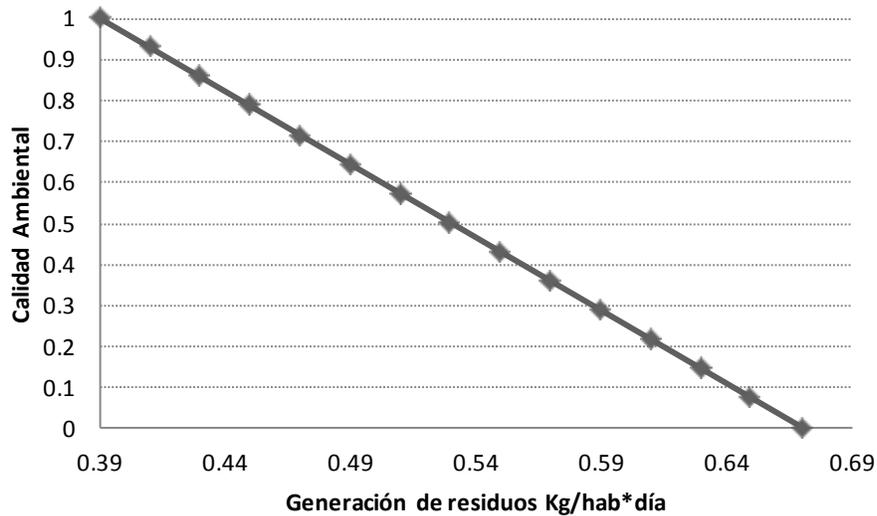
4.25 Gráfica de calidad ambiental fauna



4.2.7.5 Residuos

Para la generación de residuos sólidos se utilizará una función de transformación lineal creciente ya que al aumentar el valor de generación de residuos (kg/hab/día) mayor será el impacto y menor la calidad ambiental (Garmendia, *et al.*, 2005).

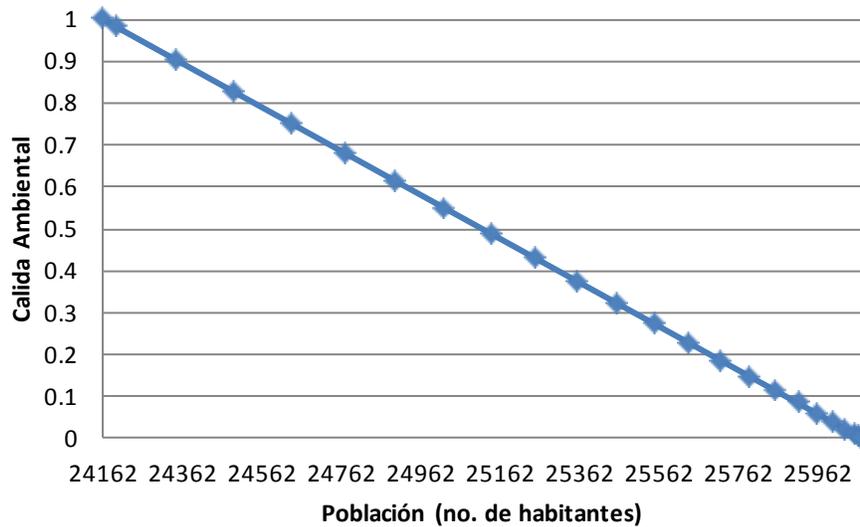
Figura 4.26 Gráfica de calidad ambiental Residuos



4.2.7.5 Población

Para la población también se utilizará una función de transformación lineal creciente ya que al aumentar la población mayor será el impacto y menor la calidad ambiental (Garmendia, *et al.*, 2005).

Figura 4.27 Gráfica de calidad ambiental Población



4.2.8 Índice de calidad ambiental

El índice de calidad ambiental se define como el grado de contaminación, expresado en unidades, donde el área altamente contaminada tendrá un valor cerca o igual a 0 y de 1 para el área en excelentes condiciones, es decir, una calidad ambiental excelente.

Con la aplicación de este índice se puede determinar la calidad ambiental global de un sitio determinado dentro de la RBC, de manera que se consideran sus componentes ambientales (agua, aire, suelo, flora, fauna y residuos) que incluyen 23 indicadores como se muestra en la tabla 4.4

El cálculo del índice de calidad ambiental se aplica utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Calidad Ambiental} = \frac{\sum_{i=1}^n Ca_i Cp_i}{\sum_{i=1}^n Cp_i}$$

Donde:

Ca_i = calidad ambiental de cada variables

(Ver valores de las gráficas del inciso 4.2.7)

Cp_i = coeficiente de ponderación de la variable

(Ver valores de la tabla 4.4)

n= número total de variables

Como se mencionó, con esta herramienta se indica el grado de contaminación del ambiente en general a la fecha del monitoreo y está expresada como una unidad; así el ambiente con calidad excelente tendrá un valor cercano a la unidad y mientras más lejano esté el valor a la unidad será mayor el grado de contaminación. En la tabla 4.5 se muestra el rango de calificación de acuerdo y se presenta la escala de calificación.

Tabla 4.4 Coeficientes de ponderación por indicador

MÉTODO DE BATELLE COLUMBUS

MEDIO FÍSICO (39)		MEDIO BIÓTICO (36)		MEDIO SOCIOECONÓMICO (26)	
Aire (5)		Vegetación (7)		Población (20)	
-Bióxido de azufre	(1)	- No. de especies bajo categoría de riesgo		- Crecimiento demográfico	
-Bióxido de nitrógeno	(1)				
-Monóxido de carbono	(1)				
-PM _{2.5}	(1)				
Ozono	(1)				
Agua (13)		Fauna (7)		Residuos (6)	
-pH	(2)	- No. de especies bajo categoría de riesgo		- Tasa de generación de residuos	
-Temperatura	(2)				
- Nitrógeno total	(2)				
-Fósforo total	(2)				
-Coliformes totales	(2)				
-Demanda bioquímica de oxígeno	(3)				
Suelo (21)					
- Hidrocarburos					
Fracción ligera	(2.6)				
Fracción media	(2.6)				
Fracción pesada	(2.6)				
- Plaguicidas					
Aldrin	(2.6)				
Dieldrin	(2.6)				
DDT	(2.6)				
Clordano	(2.6)				
Paracuat	(2.6)				

Tabla 4.5 Escala de clasificación de la calidad ambiental

Calidad ambiental	Criterio general
1-0.8	No contaminado
0.8-0.6	Aceptable
0.6-0.4	Poco contaminado
0.4-0.2	Contaminado
0.2-0	Altamente contaminado

4.2.9 Incrementos permitidos

En la tabla 4.6 se muestran los incrementos permitidos por clase para uno de los indicadores seleccionados.

Tabla 4.4 Incrementos permitidos			
Componentes ambientales	Indicadores ambientales	Clase 1	Clase 2
Aire	Ozono (O ₃)	0.007 ppm	0.028 ppm
	Bióxido de Azufre (SO ₂)	0.009 ppm	0.033 ppm
	Bióxido de Nitrógeno (NO ₂)	0.014 ppm	0.053 ppm
	Monóxido de Carbono (CO)	0.726 ppm	2.75 ppm
	Partículas PM _{2.5}	3.96 µg/m ³	15 µg/m ³
Agua	pH ¹	-	-
	Temperatura ¹	-	-
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	3.96 mg/L	15 mg/L
	Nitrógeno total	1.65 mg/L	6.25 mg/L
	Fosforo total	0.66 mg/L	2.5 mg/L
	Coliformes totales	100 NMP/100ml	500 NMP/100ml
	Suelo	Hidrocarburos	
	-fracción ligera	13.2 mg/kg base seca	50 mg/kg base seca
	-fracción media	79.2 mg/kg base seca	300 mg/kg base seca
	-fracción pesada	198 mg/kg base seca	750 mg/kg base seca
	Plaguicidas		
	-Aldrin	0.0066 mg/kg base seca	0.025 mg/kg base seca
	-Dieldrin	0.0066 mg/kg base seca	0.025 mg/kg base seca
	-Clordano	0.0066 mg/kg base seca	0.025 mg/kg base seca
	-Paracuat	66 mg/kg base seca	250 mg/kg base seca
	-DDT	66 mg/kg base seca	250 mg/kg base seca
Vegetación	Especies en bajo protección especial ²	-	-
Fauna	Especies en bajo protección especial ²	-	-
Residuos	Tasa de generación	0.0443 kg/hab/día	0.168 kg/hab/día
Población	Crecimiento demográfico ³	-	-

¹ Se deben conservar los niveles por debajo del límite máximo permisible.

² Para las variables de flora y fauna únicamente se debe tomar en ninguna caso se debe afectar alguna especie bajo categoría de riesgo.

³ Este variable que indicara cualitativamente el establecimiento de asentamientos humanos dentro de la RBC.

4.2.10 Procedimiento para la aplicación del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo

Con relación a la información de la calidad ambiental, el programa para la prevención del deterioro ambiental significativo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, se aplica cuando se cumple con uno de los criterios antes mencionados.

Por lo tanto, para darle solución a los problemas de contaminación originados por el establecimiento de nuevas fuentes se debe cumplir con lo siguiente:

- a) Realizar un *análisis o evaluación de la calidad ambiental* integral o particular (agua , suelo, aire, flora, fauna y residuos)
- b) Realizar estudios de impacto ambiental de la fuente, antes de la construcción para indicar medidas de mitigación y con ello evitar o prevenir impactos ambientales negativos. También se deberá realizar el monitoreo posterior a la construcción o establecimiento de nuevas fuentes.
- c) Instalar la mejor tecnología disponible o existente para el control de la contaminación.
- d) En el caso de no contar con información de la calidad ambiental representativa para el área de estudio, esta deberá ser generada como requerimiento del PSD

a) Análisis de evaluación de la calidad ambiental

Para cumplir con el PSD se requiere llevar a cabo una evaluación de los impactos en la calidad ambiental (agua, aire, suelo, flora, fauna y residuos) con el propósito de demostrar si las emisiones originadas por el establecimiento de una nueva fuente o modificación de la misma, en conjunto con otras fuentes que incremente las emisiones, no causa o contribuya a la violación de los incrementos de PSD o de cualquiera de las normas oficiales mexicanas aplicables en materia ambiental.

En general, para el análisis de impacto ambiental se debe evaluar la calidad del

aire existente e incluir datos de control ambiental y aplicar modelos de dispersión para conocer la concentración de los contaminantes que se espera en la propuesta del proyecto y del crecimiento futuro relacionado con el proyecto.

Como parte del cumplimiento del diseño es necesario que al establecer nuevas fuentes de contaminación llevan a cabo un análisis completo de la evaluación impacto ambiental, es decir, que deberá abarcar los componentes agua, suelo, aire y residuos. De manera que para una correcta evaluación de la calidad ambiental se requiere emplear métodos señalados por la autoridad ambiental y de esta manera los resultados podrán ser comparables y de utilidad para cumplir con los objetivos iniciales de cada monitoreo, que deberá ser vigilar el cumplimiento de las normas.

Cada evaluación de impacto ambiental será única para cada caso, debido a las distintas fuentes de contaminación, así como a las distintas condiciones meteorológicas y topográficas que puedan estar involucradas. De manera que cada evaluación de la calidad ambiental existente, deberá involucrar la aplicación de un monitoreo ambiental y modelos de dispersión, para evaluar el cumplimiento de los incrementos esperados

b) Monitoreo ambiental

Para verificar el cumplimiento del Programa para la Prevención de Deterioro Ambiental Significativo será necesario realizar un análisis de los componentes ambientales aire, suelo, agua, flora, fauna y residuos, originados por el establecimiento de nuevas fuentes de contaminación asociadas al crecimiento industrial, comercial o residencial que ocurrirá en el área. Para llevar a cabo dicho análisis técnico de las variables involucradas para cada componente afectado, ya sea agua, suelo, aire, flora, fauna o residuos, dependiendo de las fuentes de contaminación.

A continuación se describe el procedimiento general para el monitoreo y muestreo de agua, aire, suelo, flora, fauna y residuos. Es importante considerar que antes de iniciar el monitoreo ambiental queden bien definida la meta, así

como la selección de los indicadores o variables que se monitorearán, de manera que no se pierda la meta, usando metodologías adecuadas o aprobadas por la misma EPA.

b.1 Monitoreo del aire

El monitoreo del aire se puede definir como un muestreo sistemático y planeado para determinar la calidad del aire utilizando los métodos apropiados en frecuencia de recolección (cadena de custodia) e intervalos de reporte para cumplir con los objetivos planteados. Para cumplir con dicho de la calidad del aire se deberá incluir el muestreo y análisis de aire mediante el uso de analizadores automáticos continuos o manuales apropiados para cada contaminante, así como la interpretación de los resultados.

En la figura 4.28 se muestra un esquema general de se muestra los pasos para desarrollar un programa de monitoreo de la calidad del aire:

De manera general, para el desarrollo de un programa de monitoreo se debe establecer lo siguiente: definir objetivos del programa de monitoreo, información del sitio, organización y recursos necesarios, aspectos del diseño, criterios de localización de las estaciones y otros componentes esenciales del programa de monitoreo.

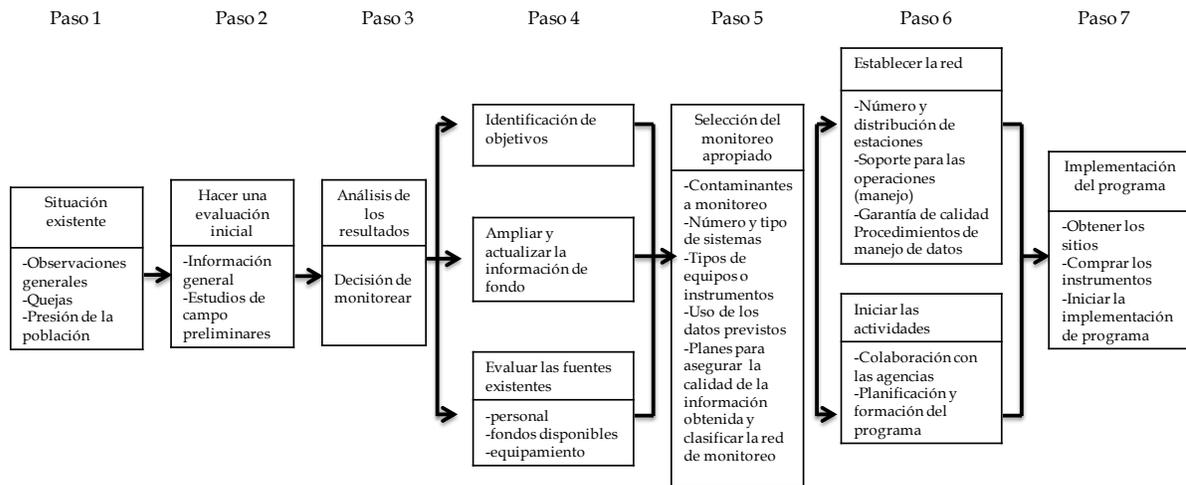


Figura 4.28 Pasos para el desarrollo de un programa de monitoreo ambiental (Fuente: WHO, 1997).

Definición de la meta

El primer paso para diseñar e implementar un programa de monitoreo del aire es definir sus objetivos para cumplir con la meta. Todo sistema de monitoreo debe definir claramente sus objetivos generales. El establecimiento de objetivos difusos, excesivamente restrictivos o ambiciosos puede desembocar en programas inapropiados desde el punto de vista del análisis costo efectividad y con datos poco útiles.

Los objetivos del monitoreo y de la calidad de los datos se deben especificar claramente para optimizar el diseño de redes, seleccionar los contaminantes prioritarios apropiados y los métodos adecuados oficiales de medición, así como determinar el nivel necesario de aseguramiento de la calidad, de control de calidad y de manejo de datos.

Los objetivos típicos del monitoreo pueden ser: juzgar el cumplimiento de las normas de calidad del aire; establecer una base científica sólida para el desarrollo de políticas; determinar el cumplimiento de los criterios establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas; evaluar la exposición de la población y de ecosistemas naturales; información pública; identificar las fuentes de contaminación y los riesgos de contaminación; y evaluar las tendencias a corto, mediano y largo plazo.

Información del sitio

La información necesaria sobre el entorno del sitio de interés debe incluir: inventario de fuentes y emisiones, información demográfica y de salud, información meteorológica, información topográfica, antecedentes de la calidad del aire, uso de suelo de la zona.

Las condiciones meteorológicas y las características topográficas predominantes influirán en la dispersión de contaminantes del aire y, en el caso de

contaminantes secundarios, en su producción en la atmósfera. Si se usan modelos adecuados de dispersión, junto con datos de emisiones, se podrá obtener una evaluación preliminar de las concentraciones probables de contaminantes y se identificarán los posibles "puntos clave" para determinar las principales fuentes de emisión. Las mediciones de contaminantes se pueden usar para correr los modelos en los que se fundamentan las predicciones en las áreas donde el monitoreo no es posible y podrían funcionar.

Es probable que en las ciudades no contaminadas ya se haya realizado un monitoreo. De no ser así, es posible diseñar muestreos para proporcionar información sobre los problemas de contaminación en la localidad. Estas inspecciones suponen el uso de equipos de calibración, muestreadores pasivos y de estaciones de monitoreo móviles.

Estos pueden incluir información demográfica, de población, de salud y de uso del suelo. Esta clase de información servirá para identificar los efectos e impactos probables en la salud por la exposición de la población a los principales contaminantes atmosféricos. La topografía juega un papel importante en la selección de los sitios de monitoreo ya que tiene un efecto en las condiciones de estabilidad y velocidad del viento.

Organización y recursos necesarios

Se debe elaborar un plan de trabajo, considerar el personal, equipo y financiamiento de acuerdo con la meta del estudio para fijar los objetivos de monitoreo y las condiciones del sitio (dispersión de contaminantes, topografía), básicamente consiste en asignar responsabilidades y el personal especializado para el control de la contaminación, ya sea a empresas particulares, gobierno u otras dependencias. Incluir el costo de los equipos, materiales, consumibles e incluir el equipo para los análisis en el laboratorio. Considerar que los resultados obtenidos del monitoreo y la información recopilada podrían ser básicos para la expansión de una red de monitoreo que puede incluir la medición de otros

contaminantes y nuevas estaciones.

Aspectos del diseño

La información preliminar es útil para designar la base del programa de monitoreo y su evaluación sirve para desarrollar el diseño, por lo que se deberá incluir: la meta del estudio, objetivos del monitoreo, selección de los contaminantes a monitorear al inicio del programa, la selección del área de estudio, determinación del número y distribución de estaciones de monitoreo; la frecuencia y duración de muestreo (lo que se decidirá de acuerdo a los objetivos del monitoreo).

Se debe seleccionar el método más sencillo que cumpla con la meta y objetivos de monitoreo planteados. Un equipo inapropiado, demasiado complejo o propenso a fallas puede interrumpir severamente el desempeño general de la red, lo que afectaría la utilidad de los datos recopilados, de manera que el equipo debe tener eficiencia analítica para lograr calidad en la información obtenida, Solo son de importancia los niveles de base o las tendencias en el largo plazo, resultará adecuado el uso de equipos de calibración y muestreadores activos.

Criterios de localización de la estaciones

Una vez definida la meta del estudio y los objetivos de monitoreo para alcanzar la meta, se determina el área de estudio y los contaminantes que se necesitan monitorear dentro del área de estudio, de manera que sean representativos de la calidad del aire de un lugar determinado para compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, normas etc., por lo que el siguiente paso dentro de la estrategia de monitoreo, será definir la localización y determinación del número de estaciones de monitoreo o sitios de muestreo que se requieran para cumplir con los objetivos del mismo.

Se debe considerar la representatividad de los sitios y muestras, que sean comparables y la disponibilidad de los requerimientos físicos, por lo que para

localizar las estaciones o sitios de muestreo se deben considerar los siguientes: el impacto ambiental de las fuentes que se instalarán o crecerán; fuentes y emisiones en el área; información demográfica, salud; uso del suelo; condiciones del lugar; seguridad; infraestructura (electricidad, teléfono, etcétera); los sitios de monitoreo debe ser representativo obteniendo los niveles de concentración y fluctuaciones de los contaminantes para cada área.

Por lo que se recomienda revisar la Parte 58 subparte C Diseño de la Red de Estaciones Estatales y Locales de Monitoreo del Aire (SLAMS) del código de Regulaciones de la EPA, en el que describen los objetivos de vigilancia y los criterios generales que deben aplicarse en el establecimiento de la necesaria calidad del aire ambiente, estaciones de monitoreo y para la elección general de lugares adicionales para sitios de monitoreo.

Otros componentes esenciales del programa de monitoreo.

Determinar los requerimientos necesarios dentro de los laboratorios, usar metodologías aprobadas por la legislación nacional o en caso de que no exista una metodología de la USEPA; asegurar la calidad, adquisición de datos, manejo de procedimientos y la presentación de datos. Para el establecimiento de estaciones de monitoreo es necesario considera que las estaciones no se ubiquen cerca de materiales o superficies absorbentes, la relación entre la topografía y flujo de aire, la localización del sitio de medición en cuanto a requisitos de distancia mínima a obstrucciones como edificios, la separación del tráfico vehicular y la presencia de árboles o vegetación abundante en altura que puedan causar algún tipo de interferencias en las mediciones de contaminantes. Y por último se debe considerar que dependiendo del tipo de contaminante es donde se localizarán los equipos de monitoreo (EPA, 2006).

b.2 Monitoreo de agua

Un programa de monitoreo deberá tener como objetivo principal medir y dar seguimiento a los cambios ambientales en el área de estudio como resultado del establecimiento de nuevas fuentes de contaminación. Además de dar a conocer el

momento exacto en el que se observe un cambio o se rebasen valores permisibles, de manera que permitirá la implementación de acciones correctivas en el momento adecuado antes de que operen actividades que degraden el ambiente y la apariencia circundante; permitirá verificar la eficiencia de las estrategias implementadas para la prevención y mitigación de impactos ambientales, estimar la modificación de la calidad ambiental del sitio durante la vida útil del proyecto y proponer medidas alternativas de corrección, entre otros.

Definir meta, objetivos y alcances del monitoreo

Los objetivos deben permitir la identificación de los aspectos afectados, los tipos de impactos y los indicadores necesarios. Para que el programa sea efectivo, el marco ideal es que éstos últimos sean lo necesario, fácilmente medibles y representativos de cada ambiente potencialmente afectado. De manera general el monitoreo incluye básicamente: el monitoreo de parámetros, selección de puntos para el monitoreo, frecuencia del monitoreo; recolección y manejo de muestras en campo, cadena de custodia, análisis de laboratorio (metodología analítica y eficiencia analítica aceptada), manejo de datos y control de calidad.

La selección de variables para el monitoreo, selección de los puntos de monitoreo y la frecuencia de monitoreo se establecerán de acuerdo con objetivos establecidos al inicio del monitoreo para cumplir con la meta del estudio.

La Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, 1992) y los "Métodos Estándar" (APHA, 1992), así como las normas oficiales mexicanas proporcionan una guía sobre los procedimientos para la preservación de muestras, procedimientos, materiales para los recipientes y máximo tiempo de almacenamiento permisible para los parámetros de calidad del agua.

Los procedimientos para recolectar y manipular muestras en campo, son variables y dependen de las condiciones locales (descargas y aguas receptoras). Los resultados de los mejores procedimientos analíticos serán inútiles si no se recolectan y manipulan adecuadamente las muestras. Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar

las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información: identificación de la descarga, número de muestra, fecha de muestreo, hora de muestreo, punto de muestreo y temperatura de la muestra siguiendo la cadena de custodia. Este aspecto incluye la recopilación de los datos, su almacenamiento y acceso y su clasificación por variables. La recolección de datos debe tener una frecuencia temporal adecuada que dependerá de la variable que se esté controlando.

Además, se deberá establecer un programa de aseguramiento y control de calidad, que incluirá los niveles aceptables de precisión de datos, desviación, representatividad y límites de detección, la toma de muestras de control de calidad en el campo y las frecuencias.

b.3 Suelo

Las técnicas de monitoreo puede ser utilizadas para determinar el estado del suelo y la calidad del suelo o para darle seguimiento a los cambios en la salud del suelo originado por el aumento de actividades como la agricultura, ganadería, extracción forestal, entre otras. Por lo anterior, los contaminantes que se monitorean serán plaguicidas e hidrocarburos, sin embargo, también se podrá complementar la información con las características físicas y químicas del suelo como: textura, color, temperatura, conductividad, pH, materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes. Para iniciar un monitoreo como se ha mencionado primero deberán definirse los objetivos e identificar el área de monitoreo, posteriormente se deberán seleccionar las variables, número y sitios de las estaciones de monitoreo, toma y recolección de las muestra, transporte y análisis de las muestras y por último el análisis de los datos obtenidos. Es importante tener en cuenta que para asegurar la recolección de datos confiables y representativos se deberá aplicar un procedimiento para asegurar el control y calidad de los datos.

Establecimiento de objetivos

Es necesario plantear y definir los objetivos del monitoreo de acuerdo a la solución del problema que se presente y en función de los resultados que pretendemos obtener con el muestreo de las variables del suelo.

Selección del área de monitoreo

Se deberá seleccionar el área de monitoreo, es decir, el área que se considera que fue o será afectada por el establecimiento de alguna nueva fuente que afecte la calidad del suelo. Posteriormente se deberá identificar las variables que proporciona la información necesaria para evaluar la calidad del área, así como el número y sitios de las estaciones de monitoreo. En este caso se aplicará un muestreo que se realiza en unidades de terreno que están sometidas a actividades como agricultura o ganadería. Se deberán considerar a la hora del muestreo el espesor de muestreo y la cantidad de muestra que se toma por unidad. Por ejemplo el espesor puede estar determinado por el tipo de aprovechamiento del suelo y la profundidad a la que se encuentran las raíces de las plantas. Antes de iniciar el muestreo es indispensable conocer las características generales y las propiedades actuales del suelo.

Definir la época de muestreo

Se recomienda que el muestreo se realice antes o después de la temporada de lluvia, realizar el muestreo después de la preparación del terreno para lograr mayor homogeneidad del proceso de muestreo.

Sitios de muestreo

Para seleccionar los sitios de muestreo se cuenta con un Plan de Manejo de la RBC, además se quiere monitorear por una cierta cantidad de años, se deben considerar las variaciones que existen en el área de muestreo como las diferencias entre las prácticas de manejo y tipos de suelo, así como las áreas con problemas evidentes y los sitios limpios para conocer la calidad ambiental

existente antes del establecimiento de nuevas fuentes de contaminación.

Entre las opciones para determinar los sitios de muestreo, se tiene principalmente el método de sitio específico y el método de transecto. El primer método se recomienda cuando se quiere monitorear áreas específicas, se deben marcar claramente los sitios en un mapa con un número o letra representativo de cada sitio. También se recomienda recorrer el sitio y anotar las observaciones que puedan ayudar a identificar el sitio. En el método de transecto los sitios pueden elegirse a lo largo de un transecto, una larga franja continua a través de un campo con sitios de muestreo ubicados a igual intervalo de distancia. Se selecciona un punto de comienzo y se marca en el mapa, luego se escoge alguna característica en el otro extremo del campo y se marca en el mapa, de manera que este será el transecto número 1, de la misma manera determinar los demás transectos dentro del área, registrar los puntos en el mapa y anotar las descripción detallada de cada sitio.

Número de muestras

Para determinar el número de muestra se debe considerar el tamaño de área en estudio y la seguridad con la que se quiere conocer el valor medio de la concentración de los indicadores seleccionados. La determinación de número mínimo de muestras requiere realizar un estudio previo de la variabilidad que representan las muestras a analizar.

Frecuencia de muestreo

El muestreo de suelo se recomienda por lo general realizarse cada dos o tres años y en casos particulares se pueden requerir análisis específicos durante la temporada de lluvia y secas. Como complemento al análisis de suelo, se realiza un análisis de la textura del suelo por lo general solo se realiza una vez, ya que es una propiedad física del suelo que prácticamente no sufre cambios con los años.

Muestreo

Es conveniente tomar siempre las muestras en la misma época del año, para

poder realizar comparaciones en el tiempo. De manera general para la extracción de las muestras en el que caso de haber cobertura vegetal, se deberá eliminar en los punto elegidos y, con una pala limpia, realizar el corte en forma de V, colocar el material a un costado, posteriormente de la misma manera se toma la muestra, a la profundidad de muestreo, descartando los bordes mediante un corte con cuchillo, luego se deberá introducir la muestra en el recipiente adecuado y debidamente etiquetado con los datos que corresponden a la muestra recolectada. Por lo general el muestreo se hace en la capa de 0 a 30 cm que es la capa superficial con mayor contenido de materia orgánica en el subsuelo y es en este estrato donde se lleva a cabo la mayor extracción de nutrimento.

En el caso de las muestras para la determinación de los hidrocarburos, se deberá seguir la estrategia de muestreo (selección de área y puntos de muestreo) plan de muestreo establecido en el punto 7.2 y 7.3 respetivamente, establecidos en la norma NOM-138 SEMARNAT-SS-2003.

Análisis de las muestras

El análisis de las muestras para determinar hidrocarburos fracción ligera, media y pesada se realizará siguiendo lo establecido en la NOM-138-SEMARNAT-SS-2003. La importancia de determinar estos compuestos radica en que al ser de uso cotidiano e indispensable para realizar distintas actividades productivas dentro de la RBC, pueden degradar el ambiente; entre ellos se encuentra el combustóleo contenido en fracción pesada, el diesel contenido en fracción mediana y la gasolina en fracción ligera.

El análisis de hidrocarburos de fracción ligera deberá realizarse de acuerdo al método de referencia establecido por la EPA 8015B 1996. La determinación cuantitativa se deberá realizar con un cromatógrafo de gases con columna capilar no polar y detector de ionización de flama o detector selectivo de masas.

Para el análisis de hidrocarburos fracción media se aplicará los métodos de

referencia de la EPA 8015B 1996 para Hidrocarburos Rango Diesel (DRO) o versiones posteriores, modificado con el método de la Referencia 1. La determinación cuantitativa se deberá realizar con un cromatógrafo de gases con columna capilar no polar y detector de ionización de flama.

Para el análisis de hidrocarburos de la fracción pesada se aplicará los métodos de referencia EPA 9071B para la extracción de los HCFP del suelo con n-hexano y su purificación y determinación gravimétrica por el método EPA 1664A. La determinación cuantitativa se deberá realizar gravimétricamente a partir del extracto con n-hexano de la muestra de suelo cribada y secada con Na₂SO₄ anhidro y procesada con sílica gel estandarizado.

En el caso de los plaguicidas se recomienda hacer la extracción siguiendo la metodología de la EPA 3546 y su determinación se efectuará en cromatógrafo de gas con detector de captura de electrones.

b.4 Monitoreo flora y fauna

Debido a la gran diversidad de seres vivos (flora y fauna), tanto a nivel de individuos y especies como de interacciones y asociaciones entre ellos, no existe una metodología aplicable a todos los casos, es decir, los estudios de flora y fauna que se realicen, deben adecuarse a las metas planteadas y a la existencia de información disponible en inventarios y publicaciones científicas actualizadas relacionadas con el sitio de estudio.

La inclusión de solo un listado de especies no resulta la mejor práctica en la preparación de las evaluaciones de impacto ambiental. En este sentido el nivel de detalle de las descripciones debe ser adecuado para satisfacer las necesidades de cada caso. Por ejemplo, cierto hábitat o comunidades bióticas requieren tratamientos más detallados que otros, especialmente aquellos que presentan una gran diversidad de especies o que poseen individuos con algún grado de amenaza para su conservación.

Técnicas de estudio de fauna

Entre las técnicas de estudio de la fauna están aquellas que contemplan la detección directa de los individuos, ya sea por avistamiento, captura, restos de animales, o por estimaciones indirectas basadas en indicadores de presencia o actividad como lo son huellas, excretas, nidos, o presencia de restos óseos en excretas. También existen técnicas complejas de captura-marcaje-recaptura que permiten estimar en forma precisa la densidad de poblaciones. Las técnicas de captura deben estar adecuadas a los distintos tipos de organismos (peces, aves, reptiles, roedores, murciélagos, cetáceos, etc.).

Técnicas para el estudio de flora

La elección del método para describir la vegetación depende de varios factores importantes, según el propósito se necesita estudiar distintos atributos; la descripción de la fisonomía y estructura de la vegetación en general no requiere de la identificación de todas las especies ni del diseño de muestreos demasiado complicados (métodos fisionómicos). Por el contrario, cuando es necesario describir la flora en su totalidad, se requiere la identificación de todas las especies y de un diseño de muestreo determinado (florísticos).

Métodos fisionómicos

En los ecosistemas terrestres el método más práctico para definir una comunidad es a través del reconocimiento de formaciones vegetales que se realizan mediante métodos fisionómicos que utilizan categorías descriptivas que permiten caracterizar la vegetación con mayor o menor detalle y emplean alguna forma de representación simbólica. Entre las características utilizadas están: la estratificación o alturas de los componentes principales; la abundancia; la densidad; la forma de vida; el tamaño, forma, textura y función de las hojas, y otros.

Métodos florísticos

La identificación florística es importante para establecer si alguna de las especies presentes en el área de estudio se encuentra en alguna categoría de conservación que requiere especial atención. Para las plantas, tales como árboles, arbustos, cactus y algunas hierbas, han sido establecidos procedimientos tanto por organismos nacionales como también internacionales. La existencia de relación entre especies animales y vegetales, permite usar indicadores biológicos que establecen condiciones de presencia/ausencia.

En el siguiente apartado se describen algunos ejemplos de técnicas de muestreo de flora y fauna.

- **Diversidad florística (listado de flora)**

De manera sencilla para establecer un listado de plantas dentro área de estudio se deben realizar recorridos con personal capacitado que tenga conocimiento de las especies de plantas que ahí se puedan encontrar, para ello se definirán transectos de muestreo que abarque el área de estudio y los diferentes tipos de vegetación que ahí se desarrollan (Sánchez *et. al* 2000). También se deberán registrar los datos florísticos en puntos distribuidos al azar del área de estudio. En el caso de que los especialistas no identifiquen de manera directa la especie, se tomarán evidencias fotográficas de la especie a identificar y llenar la ficha herbolaria para identificar en un herbario.

Una vez que se obtenga el listado de nombres comunes y científicos de las especies, se procederá a identificar el estatus de conservación que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, que establece las especies sujetas a protección especial, amenazadas, probablemente extintas en el medio silvestre y/o en peligro de extinción.

- **Diversidad faunística (listado de Flora)**

Para realizar un listado de especies presentes en un área de estudio, para esto, primero gente especializada en fauna deberán identificar especies por observación directa e indirecta. Para el caso específico de especies de hábitos nocturnos se realiza la identificación indirecta a través de sus huellas o excretas (Aranda, 2000).

Como se mencionó para la identificación en campo se deberán utilizar guías de identificación de especies como en el caso de los mamíferos se utilizarán guías de huellas y rastros (Aranda, 2000).

Una vez que sean obtenidos los nombres de las especies se procede a identificar el estatus de conservación que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, que establece las especies sujetas, amenazadas, probablemente extintas en el medio silvestre y/o en peligro de extinción.

- ***Medición de la biodiversidad***

Es indudable que la carencia de una cuantificación de la diversidad biológica compromete su propia existencia y aprovechamiento sustentable; por lo tanto es necesario tener una metodología adecuada para medir y estimar el estado que guarda la biodiversidad en realidad (Magurran, 1988). Por lo que para la estimación y la valoración de la diversidad alfa se utilizará:

Índice de Shannon-Wiener (H')

La aplicación de este índice tiene solo dos objetivos:

1. Definir estadísticamente el grado de la homogeneidad o heterogeneidad de la diversidad alfa en un paisaje o gradiente.
2. Realizar comparaciones con otros sitios o gradientes de estudio.

Para medir la heterogeneidad del paisaje, se propone cuantificar la diversidad

gamma, estimándola y expresándola como el número de especies en función de la diversidad alfa y beta y como el número de hábitat presentes (Schluter y Ricklefs, 1993), utilizando la fórmula:

$$gamma = \text{alfa} \times \text{beta} \times N.$$

Método

Para la toma de datos se consideraron puntos fijos de muestreo que pasan por los distintos tipos de hábitat que se presentan en el predio.

Los conteos por puntos son el principal método de monitoreo de aves terrestres en un gran número de países debido a su eficacia en todo tipo de terrenos y hábitats, y a la utilidad de los datos obtenidos. El método permite estudiar los cambios anuales en las poblaciones de aves en puntos fijos, las diferentes composiciones específicas según el tipo de hábitat, y los patrones de abundancia de cada especie. En los censos por puntos, el observador permanece en un punto fijo y toma nota de todas las aves vistas y oídas en un área limitada o ilimitada durante un periodo de tiempo determinado. El censo puede efectuarse una o más veces desde el mismo punto (Ralph, 1996).

Para la identificación de las especies se utilizaron libros de guías de campo con ilustraciones y descripción de las especies como ejemplo podemos mencionar “Aves de México” de Peterson y Chaliffl, la guía de aves de Howell y Web.

Para el análisis de los datos se utilizó estadística básica, además del cálculo de la densidad por especie así como la frecuencia de ocurrencia, el índice de Shannon para comparar el índice de biodiversidad entre los tipos de agrupaciones vegetales que se desarrollan en sitio del proyecto.

- **Método de muestreo para estimar densidades**

La metodología a utilizar para el muestreo es la de cuadrantes en la cual se elige un área manejable de tamaño conocido y se muestrean todos los individuos dentro de ella, este procedimiento es repetido en varios cuadrantes para tener

una adecuada representación de la comunidad (Brower *et al.*, 1997).

El procedimiento general es el de contar los individuos de varios cuadrantes de tamaño conocido y extrapolar el promedio al área general. La confiabilidad de las estimaciones elaboradas con base en esta técnica dependen de tres factores: 1) se debe de conocer con exactitud la población de cada cuadrante; 2) hay que saber con precisión el área de cada cuadrante; 3) los cuadrantes deben ser representativos del área total. En relación al tamaño del cuadro para árboles en general se utilizan de 10mX10m, para arbustos de 5mX5m y para herbáceas de 1m X 1m, (Krebs, 1989).

Con este tipo de muestreo lo que se busca es contar a todas las especies de plantas que se encuentran dentro del cuadrante, tomando los siguientes datos: especie, cantidad, altura y diámetro a altura del pecho (dap).

Se definirán los cuadrantes o puntos de muestreo considerando el tipo vegetación presente en el área de estudio. Una vez establecidos los puntos de muestreo, se ubica en campo el centro de cada cuadrante con las coordenadas ya preestablecidas, posteriormente se realiza la delimitación física del cuadrante, colocando unas balizas en las esquinas y rodeando el sitio de muestreo con una cuerda a fin de evidenciar los límites del mismo. Una vez delimitado el cuadrante se realiza el levantamiento de los datos de las especies presentes dentro de este (nombre común, nombre científico, altura, diámetro a la altura del pecho, estatus, observaciones).

b.5 Residuos

La RBC, al igual que muchas zonas del país, enfrenta grandes retos en la disposición y manejo integral de los residuos sólidos municipales. Esto es debido, principalmente a incremento de la población en zonas donde aún no se encuentra las condiciones para el manejo adecuado de los residuos.

Por lo tanto, se recomienda diseñar un programa de manejo de sus residuos. El manejo integral de los residuos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo que derivarán los beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico, como se muestra en la figura 4.9 en la cual prioriza las opciones de manejo de residuos en un orden de preferencia que parte de la prevención en la generación, del reúso, reciclaje o compostaje, la incineración con recuperación de energía, la incineración sin recuperación de energía, confinamiento y rellenos sanitarios como última opción, sin embargo, se puede ajustar a condiciones locales.

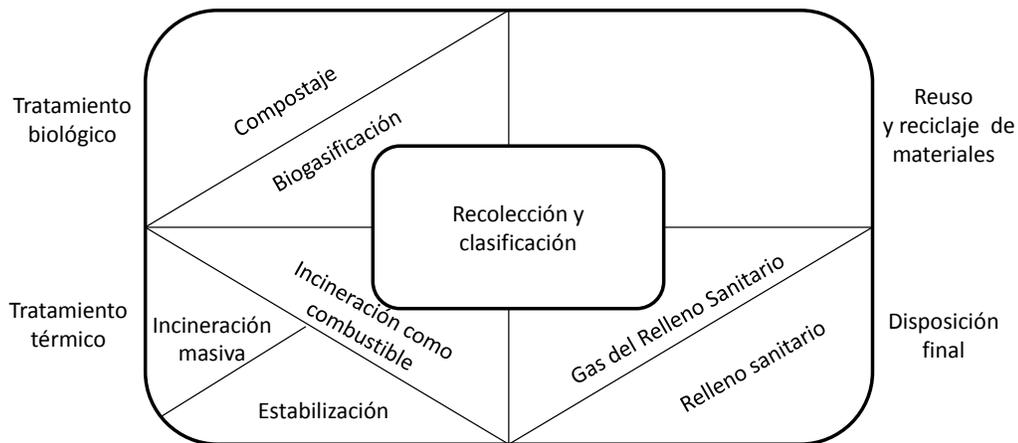


Figura 4.9 Manejo integral de los residuos sólidos municipales

Se debe considerar, que la selección de formas de manejo de los residuos (reducción en la fuente, reutilización, compostaje y biodegradabilidad, reciclaje, incineración con recuperación de energía, relleno sanitario) y de las prioridades

que deben asignárseles, requiere conocer las situaciones locales respectivas al tipo y volumen de residuos que se generan, la infraestructura disponible o accesible para su manejo y los mercados de los materiales reciclados. También se debe considerar, la factibilidad económica de las distintas modalidades de manejo de residuos sólidos tanto municipales como industriales.

Pasos a seguir para establecer un sistema de manejo integral ambiental de los residuos sólidos municipales.

Aspectos ambientales

- a) Identificar los aspectos ambientales (emisiones al aire, aguas residuales, generación de residuos, fugas y derrames, etc.) involucrados en las distintas áreas o etapas del sistema de manejo integral de los residuos sólidos.
- b) Establecer un procedimiento formal para revisar los aspectos ambientales y evaluar su significado o consecuencias.
- c) Establecer un registro actualizado de los aspectos ambientales identificados y las medidas adoptadas para su prevención y control.

Aspectos legales

- a) Desarrollar un procedimiento formal para identificar y mantener actualizada la información respecto de las disposiciones legales a seguir para lograr el manejo integral ambiental de los residuos.
- b) Acopiar y tener accesibles las disposiciones regulatorias aplicables al manejo integral ambiental de los residuos.
- c) Designar personal a cargo del seguimiento en el cumplimiento de las disposiciones regulatorias.

Definición de políticas

- a) Definir una política relativa al manejo integral ambiental adecuado de los residuos, apropiada a la naturaleza, escala e impactos ambientales potenciales de las actividades, productos y servicios que comprende el

manejo integral de los residuos en cada caso particular.

- b) Incluir en la política los conceptos y estrategias para lograr la mejora continua de los servicios y la prevención y control de la contaminación.
- c) Hacer explícita en la política la obligación del cumplimiento de las disposiciones regulatorias relativas al manejo integral ambiental de los residuos.
- d) Desarrollar e instrumentar un plan para dar a conocer la política a todo el personal involucrado en la gestión integral de los residuos.
- e) Asignar personal a cargo del seguimiento en la instrumentación y evaluación de la política.

Objetivos y metas

- a) Definir objetivos y metas concretos, prácticos y alcanzables.

Programa de manejo ambiental de residuos

- b) Diseñar e instrumentar un programa que defina las acciones a desarrollar para alcanzar los objetivos y metas.
- b) Determinar cuándo, cómo y con qué se desarrollarán dichas acciones.
- b) Designar al personal responsable del desarrollo de las distintas acciones.
- e) Establecer un mecanismo que permita incorporar nuevos proyectos al programa.

Estructura y responsabilidades

- a) Establecer una estructura administrativa en la que se defina el papel del personal involucrado en el sistema responsable de llevar a cabo el programa de manejo integral ambiental de los residuos.
- c) Asignar las responsabilidades gerenciales para asegurar la operación del sistema y la elaboración de los informes correspondientes.

Capacitación, concientización y competencias

- a) Desarrollar un procedimiento para determinar las necesidades de capacitación, ofrecerla, hacer el seguimiento de su impacto e identificar

nuevas necesidades.

- b) Incorporar en los programas de capacitación aspectos para determinar la competencia del personal capacitado.
- c) Asegurar que todo el personal esté consciente de la importancia de su función a fin de dar cumplimiento a las políticas y realizar las acciones previstas en el programa para lograr los fines ambientales que se persiguen.
- d) Designar personal acorde al desarrollo de las actividades de capacitación y concientización.

Comunicación

- a) Desarrollar un procedimiento formal para comunicar la información ambiental a la comunidad.
- b) Desarrollar un procedimiento formal para realizar las actividades de comunicación con el apoyo de fuentes externas a la municipalidad.
- c) Asignar personal especializado en labores de comunicación.

Documentación del sistema de manejo integral ambiental

- a) Desarrollar un procedimiento formal de registro y control de toda la documentación en la que se sustenta el sistema de manejo ambiental de los residuos.
- b) Designar personal acorde al registro y control de la documentación.

Control operacional

- a) Con base en la información recabada acerca de los aspectos ambientales involucrados en el manejo integral de los residuos, identificar las operaciones que requieran atención prioritaria en función de la magnitud de sus impactos ambientales.
- b) Diseñar e instrumentar procedimientos para minimizar los impactos ambientales prioritarios.
- c) Incluir criterios operativos en los procedimientos.
- d) Comunicar a los proveedores y contratistas los resultados de la identificación de los impactos ambientales de bienes y servicios, a fin de

que apliquen las medidas para minimizar los que les correspondan.

e) Asignar personal para realizar este control operacional.

Preparación y respuesta a emergencias

a) Identificar los posibles escenarios de emergencia y establecer los procedimientos para responder a las emergencias previstas.

b) Establecer un procedimiento para revisar y, en su caso, actualizar los procedimientos de respuesta a emergencias.

c) Incluir en el procedimiento un ejercicio periódico para probar los mecanismos de respuesta a emergencias.

d) Designar personal para diseñar e instrumentar los procedimientos de respuesta a emergencias.

Monitoreo y medición

a) Identificar los parámetros que deban monitorearse en las áreas propensas a impactos ambientales significativos y establecer un procedimiento para su registro.

b) Incluir un requerimiento en el procedimiento para hacer el seguimiento de estos parámetros en la determinación del cumplimiento de objetivos y metas del programa.

c) Incluir un requerimiento en el procedimiento, relativo a la calibración y mantenimiento del equipo, así como el registro en una bitácora de los datos correspondientes.

d) Designar personal capacitado para el monitoreo y medición de los parámetros seleccionados.

No-conformidad y acciones preventivas y correctivas

a) Desarrollar un procedimiento para atender las situaciones de no-conformidad, que incluya las acciones a realizar de tipo preventivo y correctivo.

b) Incluir un mecanismo de actualización de la documentación relevante al respecto.

- c) Asignar personal para el seguimiento de la conformidad.

Auditoría del sistema de manejo ambiental

- a) Una vez establecido el sistema, desarrollar un procedimiento para sujetarlo a auditorías periódicas.
- b) Realizar y registrar los resultados de las auditorías y las medidas adoptadas para corregir desviaciones.
- c) Asignar personal a cargo de realizar las auditorías.

c) Propuesta de medidas de mitigación

A continuación, se describen las medidas que pueden considerarse al establecer una nueva fuente de contaminación dentro de la Reserva de la biosfera de Calakmul. Se entiende como medidas mitigación la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra y/o acción tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos que puede presentarse durante las etapas de ejecución de un proyecto y mejorar la calidad ambiental aprovechando las oportunidades existentes.

Para el cumplimiento de la aplicación del PSD, se recomienda una serie de medidas de mitigación, así como la instalación de la mejor tecnología disponible para el control de las emisiones se basa en el máximo grado de control que se puede lograr, se debe tratar caso por caso, ya que se pueden agregar equipos de control o modificación de los procesos o métodos de producción dependiendo de la fuente de contaminación.

Esto incluye también el cambio o tratamiento de combustible y técnicas innovadoras para la combustión. Puede ser la aplicación de un nuevo diseño, equipo y aplicar las normas de operación y de emisión existentes.

Tabla 4.7 Medidas de mitigación	
Actividades	Medidas

Establecimiento de industria, comercio o servicios	<ul style="list-style-type: none">-Fortalecer las actividades de inspección y vigilancia dentro de la industria, comercio o servicios.-Cumplir con las normas para el establecimiento de industrias como la Cedula de Operación Anual y la Licencia Única Ambiental.-Mecanismos de autorregulación y mejoramiento de la gestión ambiental en pequeñas y medianas empresas.-Capacitación en prácticas de combustión en establecimientos comerciales y de servicios que cuenten con calderas.-Reducción de emisiones de gas LP en instalaciones domésticas.-Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio.-Uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles.-Establecer estaciones de monitoreo de la calidad del aire.-Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.-Evaluar la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con bajo contenido de azufre.-Evaluar la factibilidad de suministrar gas LP con bajo contenido de olefinas.-Ampliar el suministro de gas natural para la industria y como carburante.-Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.-Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolinas.-En el caso de que ocurra contaminación de aguas subterráneas o superficiales por lixiviación de aguas contaminadas. Se recomienda ubicar los sitios de disposición en lugares en los que los suelos sean relativamente impermeables, tengan propiedades atenuantes que permitan las condiciones adecuadas en el suelo de los sitios de disposición y las aguas superficiales más cercanas. Considerar la distancia entre los sitios de disposición y el manto freático, de manera que se pueda diluir, dispersar o atenuar la contaminación. Y no ubicar estos sitios cerca de fuentes de aguas subterráneas o superficiales cuya utilización pueda verse afectado por la contaminación.
--	--

Establecimiento de industria, comercio o servicios	<ul style="list-style-type: none">-Con respecto a la generación de residuos, se deberá solicitar un servicio integral de recolección de residuos en el sitio donde se lleva a cabo la instalación de una nueva fuente de contaminación.-En el caso de que se genere polvo a causa de las operaciones de descarga de materiales. Se deberá cubrir los puntos de carga y descarga, ventilar y filtrar el aire.-Si se utilizaran incineradores se deberá establecer sistemas de control para evitar la contaminación atmosférica.-Los vehículos y maquinaria utilizados deberán contar con mantenimiento periódico que incluya afinación mayor y reemplazo de piezas o partes defectuosas.-No se permitirá la operación de equipo o maquinaria que haya sido alterada, de forma que los niveles de ruido sean más altos que los producidos por el equipo original.-Se controlará y minimizará el tráfico vehicular, restringiéndose sólo a los caminos claramente identificados.Las actividades de extracción de materiales únicamente se realizarán en bancos de materiales autorizados.-Lineamiento para el uso de combustible y la operación de hornos artesanales para la fabricación de tabiques.-Aplicar medidas restrictivas en cuanto se utilicen e sustancias químicas nocivas o contaminantes, de manera que se deberá promover el uso productos biodegradables.-Habilitar sanitarios móviles (letrinas) en el área de trabajo, para evitar la contaminación del agua, los cuales serán para uso obligatorio de todos los trabajadores.-Las descargas de aguas residuales deben cumplir con la normatividad vigente.
Transporte	<ul style="list-style-type: none">-Introducción de vehículos eléctricos.-Establecimiento de corredores de transporte.-Renovación de autobuses del sistema de transporte colectivo.-Fomento del uso de combustibles alternativos en vehículos del sistema de transporte público de pasajeros.-Organización del sistema de transporte y estructura vial.-Gestión y coordinación para la pavimentación de vialidades en zonas marginadas de la región o zona.

Transporte	<p>-Impulsar la utilización de gas LP y gas natural en el transporte público.</p> <p>-Generar, promover e instrumentar un sistema de movilidad sustentable.</p> <p>-Implementar programa de verificación de vehículos a diesel que circulan dentro de la RBC.</p> <p>-Impulso al uso de la bicicleta estableciendo accesorias para su guarda a bajo precio.</p>
Sistema de tumba, roza y quema	<p>-Es conveniente realizar programas de asistencia técnica en producción de granos para mejorar las prácticas de manejo del suelo, control de malezas. Fertilización, usos de fertilizantes, etc.,</p>
Agricultura	<p>-Control de incendios forestales.</p> <p>-Inversión ambiental para la vigilancia social del suelo del área rural de la región o zona, mediante el pago compensatorio por servicios ambientales.</p> <p>-Programa de capacitación, instrumentación y establecimiento para la producción agropecuaria y forestal sustentable.</p> <p>-Establecer un control por prácticas y quemas agrícolas.</p> <p>-En el caso de contaminación del suelo se o posible absorción de sustancias químicas por la aplicación de plaguicidas, se recomienda realizar un análisis antes de la aplicación del fertilizante y sobre esta base determinar la cantidad de fertilizante orgánico que se podrá aplicar antes de llegar a niveles tóxicos.</p> <p>-La fertilización programada para las áreas verdes es de tipo biológico (humus de lombriz y lodos).</p> <p>-Lo deseable sería que estos suelos fueran fertilizados con abonos orgánicos producto de la descomposición de la misma materia orgánica que se produce en el entorno. Es por ello que se recomienda en estas circunstancias la fertilización con abonos orgánicos.</p> <p>-Desarrollo de sistemas agroforestales o cultivos asociados.</p> <p>-Proteger inspeccionar, y vigilar los recursos naturales.</p> <p>-Programa de recuperación de hábitats a través de la plantación de especies adecuadas.</p> <p>-Diseñar un programa de forestación y preservación de zonas arboladas.</p>

Ganadería	<ul style="list-style-type: none">-El mejoramiento de pasturas y aprovechamiento del forraje.-Utilización eficiente de los abonos y estiércoles (por ejemplo mejorar la capacidad de almacenamiento de los purines, las técnicas de esparcimiento y planificación para su utilización), que puede ayudar a reducir las emisiones a y permitir un mejor uso de los recursos valiosos para el suelo.-Mejoramiento de la sanidad y eficiencia reproductiva (enfermedades, partos prematuros, etc.).-El mantenimiento de sistemas basados en pastizales permanentes evitar el abandono de las tierras (actuando como sumideros).-Fomento a desarrollo de plantas de biogás para producir energías renovables con fines de calefacción y electricidad a partir de estiércoles.-Asistencia técnica en producción de ganado. Se recomienda el desarrollo de un programa de asistencia técnica en producción de ganada, orientado a mejorar las prácticas de producción que generan impactos negativos sobre el ambiente y que además no son sostenibles ni social ni económicamente.-Ordenamiento en el uso de la tierra. Esta medida junto a la anterior debe contribuir a que el establecimiento de la actividad ganadera se desarrolle en áreas donde se minimicen los impactos negativos que genera esta actividad sobre el recurso suelo y la calidad del agua.
Extracción de fauna	<ul style="list-style-type: none">-Implementar un programa de protección de fauna cerca de las áreas donde se quiera establecer la nueva fuente.-Se prohibirá cualquier tipo de aprovechamiento o afectación de fauna terrestre o acuática presente en el sitio.-Se rescatará la fauna en superficies de instalaciones previas a las actividades de preparación del sitio, e incluso durante su ejecución.
Asentamientos humanos	<ul style="list-style-type: none">-Contención del crecimiento de la mancha urbana dentro de la RBC.-Control y ordenamiento de asentamientos humanos dentro de la RBC, principalmente en las zonas núcleos.-Recuperación, restauración, conservación y ampliación de las áreas verdes urbanas a la región o zona.-Vigilar el cumplimiento de los periodos de veda.

Construcción de carreteras y caminos rurales	<ul style="list-style-type: none">-Racionalización en la construcción de nuevas vialidades.-Modificar el trazo o ruta de las carreteras o caminos para evitar rutas de migración importantes.-Incrementar las obras de drenaje para reducir el riesgo.-Instalación de alcantarillas, puentes, etc., según sea necesarios y de acuerdo con criterios de estudios ambientales previos (hidrológicos, geológicos, biodiversidad ,etc.,).-Incluir en el diseño, señales apropiadas para los caminos, incluyendo luces (señalización de áreas de conservación, avistamiento de especies de fauna).
Generación de Residuos	<ul style="list-style-type: none">-Toda la basura y los residuos sólidos no peligrosos deberán ser retirados y dispuestos en los sitios apropiados.-Control de emisiones por quema de residuos a cielo abierto.-Saneamiento de sitios y mejora (ampliación en la disposición final de los residuos sólidos y peligrosos.-Aprovechamiento de materiales y residuos-Sensibilizar a la población para lograr que cooperen a cumplir con las reglamentaciones ambientales respecto el abandono de desperdicios y descargas clandestina.-Diseñar sistemas de recolección, transferencia y disposición de residuos de modo que permita la continuación del reciclaje, aumentar la separación de productos en la fuente y la recuperación de materiales secundarios.-Construir instalaciones especiales para recibir desechos peligros de acuerdo a la legislación aplicable.-Prestar un servicio integral de recolección de residuos.-Distribuir y compactar los desperdicios que se retiren cubriéndolos con tierra e instalar sistemas de control de gases.-Diseñar rutas especiales para el transporte de residuos peligros, debido a que es un Área de protección especial.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

5.- CONCLUSIONES

En la reserva de la biosfera de Calakmul se observó que el número de localidades ubicadas dentro de la RBC, han aumentado en los últimos años, lo cual propicia el incremento de las actividades productivas y el desarrollo de la región. Además, se observó que la Reserva incluye poblaciones humanas en sus zonas núcleo en donde las actividades productivas deben ser ecológicamente adecuadas y sostenibles para lograr el objetivo central de conservación. Sin embargo, a pesar de ser una zona estimada con alta biodiversidad es considerado un sitio altamente amenazado.

Mediante la aplicación de la matriz de Leopold modificada, se identificaron 4 impactos positivos y 32 impactos ambientales negativos asociados a las principales actividades de la zona como agricultura, ganadería. Entre las amenazas más significativas se encontraron los incendios forestales, deforestación, cacería de fauna silvestre y ampliación de carreteras que responden principalmente al crecimiento poblacional y a las consecuentes demandas de los pobladores por el cambio de uso de suelo forestal a campos agrícolas y ganaderos.

A partir la aplicación de herramientas metodologías de impacto ambiental como matriz de Leopold, árbol de acciones y factores, método de Battelle Columbus, funciones de transformación se desarrolló un índice de calidad ambiental que incluye 23 indicadores ambientales, como herramienta para para evaluar el deterioro de la RBC al establecer nuevas fuentes de contaminación o modificación de las ya existentes.

Se diseñó un programa para la prevención del deterioro ambiental significativo con un enfoque no solo en la calidad del aire, si no con un enfoque integral que considera al ambiente en general y las condiciones del Área Natural protegida conocida como “Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche. Este programa Permitirá el desarrollo de la RBC manteniendo los niveles de calidad ambiental

adecuados para proteger la salud de la población, proteger los recursos humanos y evitar la degradación de monumentos histórico-culturales, mediante el establecimiento de 23 indicadores ambientales.

Se diseñó un el “Programa para la prevención del deterioro ambiental significativo” considerado como una herramienta que es útil para mantener la calidad ambiental existente en zonas como la RBC, que incluye una serie medidas de mitigación y prevención para minimizar los impactos originados desarrollo de la zona. De manera que es una propuesta objetiva, representativa, sencilla y fácil de aplicar que permite conocer de forma concreta la calidad ambiental del área de estudio.

6.-RECOMENDACIONES

Realizar monitoreo ambiental para determinar la calidad ambiental de la Reserva de la Biosfera de Calakmul con el propósito de complementar el diseño del programa para la prevención del deterioro ambiental significativo.

Fomentar el diseño y aplicación de otros programas para la prevención del deterioro ambiental significativo tanto en áreas naturales de la región como del país.

Presentar el proyecto a instituciones de gobierno para llevar a cabo su aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

Abellan, M.A., García, F.A. (2006). La Evaluación del impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Colección Monografías. 632 p.

Bravo A., H., Sosa E., R., Sánchez A. P. (2006) Prevención del Deterioro ambiental Significativo en el Estado de Veracruz”. Primer Foro, El Medio Ambiente Atmosférico en el Estado de Veracruz.

Bravo A., H., Sosa E., R., Sánchez A. P. (2007) Prevention of Significant Deterioration, a proposal for its application in Latin American countries. Annual Conference & Exhibition. Pittsburgh, Pennsylvania.

CONAPO (2008) Proyecciones de la población de México de las entidades federativas de los municipios y de las localidades 2005-2050. [En línea accesada en noviembre de 2009]http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234

Code of Federal Regulations Office of the Federal Register National Archives and Records. Administration. 40 CFR. Chapter I. Part. 58. “Quality Assurance Requirements for prevention of Significant Deterioration (PSD) Air Monitoring.

Díaz Gallegos, José., García Gill, G., Castillo A, O., March, I. (2001) Uso de Suelo y transformaciones de Selvas en un ejido de la Reserva Calakmul, Campeche, México. Investigaciones Geográficas. Boletín del instituto de Geografía de la UNAM. Núm. 44, pp. 39-53.

Diario Oficial de la Federación. 30/Noviembre/2000. Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de áreas naturales protegidas.

Diario Oficial de la Federación. 28/Enero/1998. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente LGEEPA. Última reforma publicada el 5 de Julio de 2007.

Diario Oficial de la Federación. 30/Mayo /2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Diario Oficial de la Federación. 23/Mayo/1989. Decreto por el que se declara la Reserva de la Biósfera de Calakmul.

Gómez Orea (2000). Evaluación de impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa Barcelona, España. Segunda Edición.

ECOSUR (1999). Estrategia Regional institucional (1999.2002) de investigación, vinculación y posgrado en la región Frontera Sur del Estado de Campeche (Calakmul-Silvituc).

Ericson, J. (1996). Conservation and development on the border of the Calakmul Biosphere Reserve, Campeche, Mexico. Thesis. Humboldt State University, California 216 pp.

Ericson, J. y Maas R. (1998). La dinámica poblacional en los ejidos alrededor de la Reserva de la Biosfera de Calakmul. Pronatura Península de Yucatán, WWF México, U. of Michigan. México, D.F. 50

Espinosa, G. (2001) Fundamento de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo.

EPA (1990). New Source Review Workshop Manual. Prevention of Significant Deterioration and Nonattainment Area Permitting.

EPA (2002). Technical Support Document for the Prevention of Significant Deterioration and Nonattainment Area New Source Review Regulations. Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711.

EPA (2005). 40 CFR 52.2630. Prevention of significant deterioration of air quality. Code of Federal Regulations. Title 40: Protection of Environment.

EPA (2006). TITLE 40-Protection of Environment CHAPTER I--Environmental Protection Agency Subchapter C--Air Programs Part 58-Ambient Air Quality Surveillance. Appendix D to Part 58. Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring.

EPA (2007). 40 CFR Parts 51 and 52 Prevention of Significant Deterioration (PSD) for Particulate Matter Less Than 2.5 Micrometers (PM_{2.5})—Increments, Significant Impact Levels (SILs) and Significant Monitoring Concentration (SMC); Proposed Rule.

FAO (2000). Evaluación de la contaminación del suelo. Manual de referencia. N° 8. Roma, 209 pp.

Fernández, V. (2009) Guía Metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental. Cuarta Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

García, E.(1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen. Instituto Nacional de Geografía. UNAM, México

Galindo-Leal, C. (1999). La gran región de Calakmul: Prioridades biológicas de conservación y propuesta de modificación de la Reserva de la Biosfera. Reporte Final a World Wildlife Fund – México, México D.F.40 pp.

García Gil., Pat, J. (2000). Apropiación del espacio y colonización de la selva en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche. *Revista mexicana del Caribe*, año V, núm. 10 México, pp. 212-231

García, Gil. (2000). Toponimias de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche. Extraído del proyecto J118 Uso actual de suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. Escala 1:50000. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). México.

García Gil., Palacio, J. L., Ortiz, M.A. (2002). Reconocimiento geomorfológico e Hidrográfico de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, México. *Investigaciones Geográficas (Mx)* Agosto, No. 048. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal México. pp. 7-23.

García Gil, G. (2004). Colonización humana reciente y formación del paisaje agrario en la Reserva de la Biosfera de Calakmul. Tesis de Doctorado. UNAM, DF. 129 p.

Gómez Orea (2002). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Mundi-Prensa Libros. Segunda Edición 2002. 749 p.

Garmendia, A.; Salvador, A.; Crespo, C. Y Garmendia, L. 2005. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Pearson, Prentice Hall. Madrid, 396 pp.

Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D. Woodward, Richard. (1995). *Environmental indicators: a Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of sustainable Development*. World Resources Institute.

H. Ayuntamiento de Calakmul (2007). *Plan Municipal de Desarrollo 2006-2007*. Calakmul, Campeche, México 2007.

INE-SERMARNAT. (1996). *Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2000). *La Evaluación del impacto ambiental. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995- 2000*. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2007). *Cuaderno Estadístico Municipal*. Calakmul, Campeche. Edición 2007.

INEGI (1999). *Carta Geológica Chetumal E1647 Escala 1:250 000*.

INEGI (1989). *Carta Hidrológica de Aguas subterráneas Chetumal E1647 Escala 1:250 000*.

INEGI (1989). Carta Hidrológica de Aguas superficiales Chetumal E1647 Escala 1:250 000.

INE-SEMARNAT, (1999). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. Primera Reedición, Diciembre de 2001.

Manahan, Stanley E., (2007). Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté, S.A. UNAM.

Mariano Seoanez Calvo. (1998). Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Reconversión industrial y a la Restauración de paisajes industriales degradados. Casos prácticos. Ediciones. Mundi-Prensa.

Martínez, Esteban., Galindo-Leal, Carlos. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: Clasificación, Descripción y Distribución. Bol. Soc. Méx. 71:7-32.

Morales-Rosas. J. (1999). Suelos. Pp 41-49. In Folan, W., M.C. Sánchez y J.M. Ortega. Naturaleza y Cultura en Calakmul, Campeche. CIHS. Universidad Autónoma de Campeche. 176 p.

Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2.5} de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.

OECD (2003). Environmental Indicators. Development, measurement and Use. Organization For economic Cooperation and development.

Organización Mundial de la Salud (2006) Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre *Actualización mundial 2005*. Resumen de evaluación de los riesgos.

Pauly, N. (2009). Impaired visibility: the air pollution people see. *Atmospheric Environment* Vol. 43, pp. 182-195.

Pérez C.A., Rodríguez A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad del agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 56 (4): 1905-1918, December 2008.

Pool (2000). El cambio de uso del suelo en Calakmul, Campeche. Ed. ECOSUR-SISIERRA. México. 34p.

PROSURESTE, GTZ-CONANP. 2005. Diagnostico de la Situación del Desarrollo en el Municipio Calakmul, Campeche. Edit. Gtz. México.

PRONATURA, (2005). Plan de conservación de Calakmul, Balan ki- Balan-ku. Pronatura Península de Yucatán A. C. The Nature Conservancy. Primera Edición

PROSURESTE, (2005). Diagnóstico de la situación del desarrollo en el municipio de Calakmul, Campeche. CONANP- GTZ. México. 103 p.

PROSURESTE, (2006). Plan del Ordenamiento Territorial Municipal en Calakmul, Campeche. Manuscrito, en proceso. CONANP – GTZ. México.

Samboni R. N., Carvajal E. Y., Escobar J.C (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, Ingeniería e Investigación, diciembre, año/vol.27, numero 003. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá Colombia pp. 172-181.

Sánchez G., M.C., 1999. Población Actual pp. 111-116. In Folan, W., M. C. Sánchez y J.M. Ortega. *Naturaleza y Cultura en Calakmul, Campeche*. CIHS. Universidad Autónoma de Campeche. 176 p.

Sandler, B., S. Weiss, J. Fay, E. Martinez and C. Galindo-Leal. 1998. Análisis de la deforestación y de los tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, utilizando sensores remotos. Reporte Final. World Wildlife Fund-México, México D.F. 38 pp.

Sosa E.R., Bravo A.H., Sánchez A.P. (2009) La importancia de la Prevención del deterioro ambiental significativo en Latinoamérica” *Revista de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL)*. 51(224), 45-52. ISSN-0120-0798.

Sosa E.R., Bravo A.H., Sánchez A.P (2008). “Prevention of Significant

Deterioration, a Proposal for its application in Latinamerica”. 101st Annual Conference & Exhibition of the Air & Waste management Association. Portland, Oregon. June.

Samboni R.N., Carbajal, E.Y., Escobar J.C., (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación, diciembre, año/vol. 27 número 003. Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 172-181.

SEMARNAT, 2000. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, México. Instituto Nacional de Ecología- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos naturales. 267 pp.

SEMARNAT. Indicadores Ambientales. Su aplicación en programas de calidad del aire. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos naturales.

SEMARNAT, 1997 Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centro urbanos de México. Primera Edición.

SEMARNAT, Inventario Nacional de Emisiones, 1999.

SEMARNAT (2008). Estadísticas Generales en el Estado de Campeche, 2008.

Ucán, E., L. Ortega, J. Ortiz, J. Tun y S. Flores., 1999. Vegetación y Flora. p. 59-64. In Folan, W., M. C. Sánchez y J.M. Ortega. Naturaleza y Cultura en Calakmul, Campeche. CIHS. Universidad Autónoma de Campeche. 176 p.

UNESCO, 2005 Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention [En línea accesada en noviembre de 2009] <http://whc.unesco.org/en/criteria/>.2005

Villagómez, Paloma y Bistrain, César. (2008) Situación demográfica Nacional. CONAPO.

<http://www.conanp.gob.mx/dcei/didact/CALAKMUL%20PA%20PDF.pdf>

http://www.calakmul.gob.mx/transparencia/Doctos/envio13jun07/CALAKMUL_plan_2006_2009

http://www.calakmul.gob.mx/transparencia/Doctos/envio13jun07/CALAKMUL_plan_2006_2009-.pdf

http://www.ecy.wa.gov/programs/air/psd/PSD_PDFS/PSD_getpermit.pdf

<http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=MEX+07&m ode=all>

<http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/criteria/reldocs/4-87-007.pdf>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Áreas Naturales Protegidas: Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originados no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente.

Canícula: Época más calurosa del año.

Disposición final: El depósito permanente de los residuos sólidos en un sitio en condiciones adecuadas y controladas, para evitar daños a los ecosistemas.

Emisión: Descarga de una sustancia en algún elemento del ambiente.

Fuentes fijas. Son los establecimientos industriales estacionarios, regulados por la SEMARNAT o las autoridades ambientales estatales o municipales correspondientes. Se establecieron umbrales de emisión para determinar si las emisiones de un establecimiento dado se considerarían dentro del inventario de fuentes fijas o más bien en el inventario de fuentes de área.

Fuentes de área. Esta categoría incluye pequeños establecimientos industriales que no se clasifican como fuentes fijas; incluye actividades dispersas, como el lavado en seco y el uso comercial y doméstico de solventes, y también fuentes fugitivas de partículas suspendidas, por ejemplo, las actividades de labranza, los vehículos que circulan en caminos no pavimentados y el polvo transportado por el viento. Asimismo, las fuentes de área incluyen vehículos como locomotoras, aeronaves y embarcaciones marítimas comerciales.

Fuentes móviles que no circulan por carreteras. Corresponden a las emisiones de maquinaria agrícola y de construcción.

Fuentes naturales. Esta categoría incluye las emisiones naturales de COV generadas por la vegetación, de NOx provenientes de los suelos, y de SO₂ y PM producidas por la actividad volcánica.

Factor ambiental. Son aquellas características, procesos o componentes que definen el ambiente.

Función de transformación. Relacionan la magnitud de un factor ambiental y la calidad ambiental, expresando esta última en función de aquélla.

Generación: Cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo.

Hidrocarburos de fracción ligera. Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre cinco y diez átomos de carbono (C₅ a C₁₀).

Hidrocarburos de fracción media. Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan cadenas lineales entre diez y veintiocho átomos de carbono (C10 a C28).

Hidrocarburos de fracción pesada. Mezcla de hidrocarburos cuyo peso molecular sea mayor a C18.

Índice. Un conjunto de parámetros globales (indicadores) o de forma ponderada.

Indicador. Es parámetro o un valor derivado de parámetros que indica, proporciona información acerca del estado de un fenómeno / ambiente / área, con una significación que se relaciona directamente con un valor de parámetro.

Indicador ambiental. Valor agregado que da indicaciones o describe el estado de un fenómeno, del medio ambiente o de una zona geográfica, y que tiene un alcance superior a las informaciones directamente dadas por los parámetros considerados.

Impacto Ambiental. Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Manejo integral de residuos sólidos: El manejo integral de residuos sólidos que incluye un conjunto de planes, normas y acciones para asegurar que todos sus componentes sean tratados de manera ambientalmente adecuada, técnicamente y económicamente factible y socialmente aceptable. El manejo integral de residuos sólidos presta atención a todos los componentes sin importar su origen, y considera los diversos sistemas para su tratamiento como son: reducción en la fuente, reuso, reciclaje, compostaje, incineración con recuperación de energía y disposición final en rellenos sanitarios.

Monitoreo. Proceso sistemático de evaluación de factores ambientales y parámetros biológicos.

Programa de Manejo. Instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del área natural protegida respectiva.

Ordenamiento ecológico. El proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio estatal y las zonas sobre las que el Estado ejerce su jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

Preservación: El conjunto de políticas y medidas para mantener las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los ecosistemas y hábitat naturales, así como conservar las poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y los componentes de la biodiversidad fuera de su hábitat natural.

Prevención. El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente.

Protección. El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente, prevenir y controlar su deterioro.

Programa de ordenamiento ecológico. El modelo de ordenamiento ecológico y las estrategias ecológicas aplicables al mismo.

Sistemas agroforestales. Son una forma de uso de la tierra en donde especies perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales, cuyo propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando el principio de sostenibilidad.

Subzonificación. Consiste en el instrumento técnico y dinámico de planeación, que se establecerá en el programa de manejo respectivo, y que es utilizado en el manejo de las áreas naturales protegidas, con el fin de ordenar detalladamente las zonas núcleo y de amortiguamiento.

Relleno Sanitario. Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructuras adicionales, los impactos ambientales.

Tasa de generación. Es la cantidad promedio que genera una unidad o componente de una fuente de generación en la unidad de tiempo.

Tiradero a cielo abierto. Sitio en donde son depositados los residuos sólidos municipales sin ningún control o protección al ambiente.

Vehículos automotores Corresponden a las emisiones del escape de los vehículos automotores que circulan por carreteras y calles pavimentadas, incluidos automóviles particulares, motocicletas, taxis, microbuses, autobuses y camiones de carga pesada que utilizan ya sea diesel o gasolina.

Zonificación. Instrumento técnico de planeación que puede ser utilizado en el establecimiento de las áreas naturales protegidas, que permiten ordenar su territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, su uso actual y potencial, de conformidad con los objetivos dispuestos en la misma declaratoria.

ANEXOS

ANEXO 1
LISTADO DE ESPECIES DE FLORA DE LA RBC BAJO CATEGORIA DE RIESGO

En el presente listado florístico de la Reserva de la Biosfera Calakmul, se presentan aquellas que se encuentran en listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-SERMARNAT-059-2001 bajo alguna categoría de riesgo. Para la mejor comprensión del listado se definen con la nomenclatura que a continuación se describe en los diferentes estatus de protección:

Categorías de Riesgo			
NOM-SERMARNAT-059-2001		NOM-ECOL-059-1994	
Probablemente extinta en el medioE silvestre		Amenazadas A	A
En peligro de extinción	P	En Peligro de Extinción: P	P
Amenazadas	A	Raras: R	R
Sujeta a protección especial	Pr	Protección especial Pe	Pe
		Endémicas: *	*

Listado de especies de Flora		
Especies	2001	1994
<i>Acosmium panamense</i>	A	A
<i>Aporocactus flagelliformis</i>		R*
<i>Bactris balanoidea</i>		R
<i>Beaucarnea plianabilis</i>	A*	A*
<i>Calophyllum brasiliense</i>	A	A
<i>Catopsis berteroniana</i>		R
<i>Chamaedorea ernesti-augusti</i>	A	A
<i>Chamaedorea graminifolia</i>	A	A
<i>Cryosophila argentea</i>	A	A
<i>Dion spinulosum</i>	P*	P*
<i>Gaussia maya</i>	A	A
<i>Geonoma oxycarpa</i>	A	A
<i>Guaiaacum sanctum</i>	Pr	Pr
<i>Polypodium triseriale</i>	A	A
<i>Schizaea elegans</i>	A	A
<i>Spiranthes torta</i>		R
<i>Tabebuia chrysantha</i>	A	A
<i>Talauma mexicana</i>	A	A
<i>Tillandsia elongata</i>	A	A
<i>Tillandsia festucoides</i>		R
<i>Vatairea lundellii</i>	P	P
<i>Yucca lacandonica</i>	A	A
<i>Zamia loddigesii</i>	A	A

<i>Zamia furfuracea</i>	A*	A*
<i>Zinnia violacea</i>	A	A

ANEXO 2

LISTADO DE ESPECIES DE FLORA DE LA RBC BAJO CATEGORIA DE RIESGO

En el presente listado de especies de fauna de la Reserva de la Biosfera Calakmul, se presentan aquellas que se encuentran en listadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-SERMARNAT-059-2001 bajo alguna categoría de riesgo. Para la mejor comprensión del listado se definen con la nomenclatura que a continuación se describe en los diferentes estatus de protección:

Categorías de Riesgo			
NOM-SERMARNAT-059-2001		NOM-ECOL-059-1994	
Probablemente extinta en el medio silvestre	E	Amenazadas A	A
En peligro de extinción	P	En Peligro de Extinción: P	P
Amenazadas	A	Raras: R	R
Sujeta a protección especial	Pr	Protección especial Pe	Pe
		Endémicas: *	*

Listado de especies de Fauna

PECES

<i>Rhamdia guatemalensis</i>	A	A
------------------------------	---	---

HERPETOFAUNA

<i>Boa constrictor</i>	A	A
<i>Claudius angustatus</i>	P	P
<i>Coleonyx elegans</i>	A	A
<i>Corytophanes cristatus</i>	Pr	R
<i>Crocodylus moreletii</i>	Pr	R
<i>Crotalus durissus</i>	Pr	Pe
<i>Ctenosura similis</i>	A	A
<i>Dipsas brevifacies</i>	Pr	R
<i>Iguana iguana</i>	Pr	Pr
<i>Kinosternon leucostomum</i>	Pr	Pe
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Pr	Pe
<i>Laemanctus serratus</i>	Pr	R
<i>Leptophis ahaetulla</i>	A	A
<i>Leptophis mexicanus</i>	A	A
<i>Micrurus diastema</i>	Pr	R
<i>Rhinoclemmys areolata</i>	A	A
<i>Sphaerodactylus glaucus</i>	Pr	R
<i>Staurotypus triporcatus</i>	A	Pe
<i>Trachemys scripta</i>	Pr	Pe

ANFIBIOS		
<i>Bolitoglossa yucatana</i>	Pr*	R*
<i>Gastrophryne elegans</i>	Pr	R
<i>Rana berlandieri</i>	Pr	Pe
<i>Rana brownorum</i>	Pr*	R*
<i>Rhinophrynus dorsalis</i>	Pr	R
MAMÍFEROS		
<i>Alouatta pigra</i>	P	P
<i>Ateles geoffroyi</i>	P	P
<i>Bassariscus sumichrasti</i>	Pr	R
<i>Caluromys derbianus</i>	Pr	R
<i>Coendou mexicanus</i>	A	A
<i>Conepatus semistriatus</i>	Pr	R
<i>Cryptotis nigrescens</i>	Pr	R
<i>Chrotopterus auritus</i>	A	R
<i>Diaemus youngi</i>	Pr	R
<i>Eira babara</i>	P	P
<i>Enchisthenes hartii</i>	Pr	R
<i>Eumops nanus</i>	Pr	R
<i>Felis onca</i>	P	P
<i>Felis pardalis</i>	P	P
<i>Felis wiedii</i>	P	P
<i>Felis yagouaroundi</i>	A	A
<i>Galictis vittata</i>	A	A
<i>Lutra longicaudis</i>	A	A
<i>Mimon crenulatum</i>	A	R
<i>Oryzomys palustris</i>	A*	A*
<i>Otonyctomys hatti</i>	A	A
<i>Potos flavus</i>	Pr	R
<i>Reithrodontomys gracilis</i>	A*	A*
<i>Rhynchonycteris naso</i>	Pr	R
<i>Tamandua mexicana</i>	A	A
<i>Tapirus bairdii</i>	P	P
<i>Vampyrum spectrum</i>	A	A
AVES		
<i>Accipiter bicolor</i>	A	R
<i>Accipiter cooperi</i>	A	A
<i>Accipiter striatus</i>	A	A
<i>Amazilia candida</i>	-	R
<i>Amazilia tzacatl</i>	-	R
<i>Amazona albifrons</i>	-	R

<i>Amazona xanholora</i>	A	A
<i>Amazona farinosa</i>	A	A
<i>Anas discors</i>	Pr	Pr
<i>Aramides cajanea</i>	-	R
<i>Aramus guarauna</i>	A	A
<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	Pr	Pr
<i>Buteo nitidus</i>	Pe	Pe
<i>Buteogallus anthracinus</i>	A	A
<i>Buteogallus urubitinga</i>	A	A
<i>Cairina moschata</i>	P	p
<i>Campephilus guatemalensis</i>	Pr	R
<i>Campylopterus curvipennis</i>	-	R
<i>Casmerodius albus</i>	-	R
<i>Celeus castaneus</i>	A	A
<i>Chaetura vauxi</i>	-	R
<i>Chlorostilbon canivetii</i>	-	R
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	Pr	R
<i>Ciccaba virgata</i>	A	A
<i>Claravis pretiosa</i>	-	R
<i>Columba nigrirostris</i>	Pr	R
<i>Columba speciosa</i>	Pr	R
<i>Crax rubra</i>	A	A
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	Pr	R
<i>Cyanocompsa cyanoides</i>	-	R
<i>Dactylortyx thoracicus</i>	Pr	A
<i>Dendrocincla anabatina</i>	A	A
<i>Dendrocincla homochroa</i>	-	R
<i>Dendrocolaptes certhia</i>	-	R
<i>Dendroica magnolia</i>	-	R
<i>Dryocopus lineatus</i>	-	R
<i>Euphonia gouldi</i>	Pr	R
<i>Falco ruficularis</i>	A	A
<i>Formicarius analis</i>	A	R
<i>Galbula ruficauda</i>	A	R
<i>Geotrygon montana</i>	-	R
<i>Geranospiza caerulescens</i>	A	A
<i>Glaucidium brasilianum</i>	A	A
<i>Harpagus bidentatus</i>	Pr	R
<i>Helmitheros vermivorus</i>	-	R
<i>Henicorhina leucosticta</i>	-	R
<i>Hylomanes momotula</i>	A	R

<i>Hylophilus decurtatus</i>	Pr	R
<i>Hylophilus ochraceiceps</i>	Pr	R
<i>Icterus auratus</i>	A*	A*
<i>Icterus cucullatus</i>	A	A
<i>Ictinia plumbea</i>	Pr	R
<i>Leptodon cayanensis</i>	Pr	R
<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	-	R
<i>Leptotila rufaxilla</i>	-	R
<i>Leucopternis albicollis</i>	Pr	R
<i>Limnothlypis swainsonii</i>	P	P
<i>Micrastur ruficollis</i>	Pr	R
<i>Micrastur semitorquatus</i>	Pr	R
<i>Momotus momota</i>	-	R
<i>Mycteria americana</i>	A	A
<i>Odontophorus guttatus</i>	Pr	R
<i>Oncostoma cinereigulare</i>	-	R
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	P	R
<i>Otus guatemalae</i>	-	R
<i>Penelope purpurascens</i>	A	Pe
<i>Piaya cayana</i>	P	R
<i>Pionopsitta haematotis</i>	P	R
<i>Pionus senilis</i>	A	A
<i>Polioptila plumbea</i>	Pr	R
<i>Psarocolius montezuma</i>	Pr	R
<i>Pteroglossus torquatus</i>	Pr	R
<i>Ramphastos sulfuratus</i>	A	R
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	A	A
<i>Sarcoramphus papa</i>	P	A
<i>Seiurus aurocapillus</i>	-	R
<i>Seiurus noveboracensis</i>	-	R
<i>Setophaga ruticilla</i>	-	R
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	-	R
<i>Spizaetus tyrannus</i>	A	R
<i>Spizaetus ornatus</i>	P*	A
<i>Spizastur melanoleucus</i>	P	R
<i>Terenotriccus erythrurus</i>	-	R
<i>Trogon collaris</i>	Pr	R
<i>Trogon melanocephalus</i>	-	A
<i>Trogon violaceus</i>	-	A
<i>Tyto alba</i>	-	
<i>Uropsila leucogastra</i>	-	R

<i>Veniliornis fumigatus</i>	-	R
<i>Wilsonia citrina</i>	A	R
<i>Xenops minutus</i>	A	R

ANEXO 3
CATEGORIAS DE LOS SITIOS DE DISPOSICION FINAL
(NOM-083-SEMARNAT-2003)

En el numeral 5. 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 que “establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de deposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”, se describen las categorías de los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Categorías de los sitios de disposición final	
TIPO	TONELAJE RECIBIDO TON/DÍA
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10