



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO EN HIDROCIENCIAS

**EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL POR EL MÉTODO BATELLE  
COLUMBUS DEL TÚNEL DE DESFOGUE DE LA LAGUNA DE  
METZTITLÁN, ESTADO DE HIDALGO**

**MAYRA MENDOZA CARIÑO**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO.

2010

La presente tesis titulada EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL POR EL METODO BATELLE COLUMBUS DEL TUNEL DE DESFOGUE DE LA LAGUNA DE METZTITLAN, ESTADO DE HIDALGO, realizada por la alumna: **MAYRA MENDOZA CARIÑO**, bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

HIDROCIENCIAS

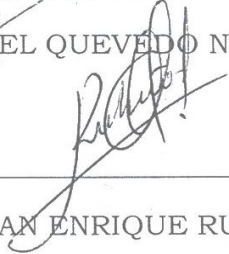
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR:



DR. JUAN ENRIQUE RUBIÑOS PANTA



ASESOR:

DR. IOURII NIKOLSKII GAVRILOV

ASESOR:



DRA. ELIZABETH HERNANDEZ ACOSTA

Montecillo, Texcoco, México, 11 de mayo de 2010.

**RESUMEN****Mayra Mendoza Cariño, MC.****Colegio de Postgraduados, 2010**

El Distrito de Riego 08 se localiza en la Cuenca de Metztlán, en la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztlán (RBBM) parte Norte. El desbordamiento del río y la laguna Metztlán ocasionan inundaciones en la zona con una frecuencia de 2.5 años (CNA, 2003). Aunque ya existen dos túneles de desfogue de la laguna al río Almolón, estos son insuficientes pues liberan el agua en más de seis meses por ello, la Comisión Nacional del Agua propone construir un nuevo túnel.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto ambiental en la biodiversidad de la RBBM con base en las categorías de Ecología y Contaminación del Método Batelle Columbus (MBC), que generará la construcción del túnel de desfogue propuesto para la laguna de Metztlán, en el Estado de Hidalgo. Se identificó 42 parámetros ambientales susceptibles de afectarse por la construcción del túnel mediante la matriz de Importancia, las actividades más incidentes serán camino de acceso y obras de protección. Según el MBC, el impacto neto global del proyecto es de 223.6 unidades de impacto ambiental de un total de 1 000 unidades es decir, el 22.4 % del impacto máximo y la categoría más afectada será Ecología con el 4.7 %. Aunque el impacto neto global es aceptable y se afectará sólo el 6.68 % del área de la RBBM, el sistema de alerta señala la biodiversidad. Se recomienda que la fase de operación del túnel se realice bajo un Reglamento de Operación que evite el desfogue en época de sequía y sólo libere el volumen excedente al caudal ambiental de Rango Óptimo.

**Palabras clave:** impacto ambiental, impacto neto global

**ABSTRACT****Mayra Mendoza Cariño, MC.****Colegio de Postgraduados, 2010**

The irrigation District 08 is in Metztlán's basin, in the Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztlán (RBBM), north part. The overflowing of the river and lagoon Metztlán provoke floods in this place with a frequency of 2.5 years (CNA, 2003). Although there are two tunnels of vent from lagoon to river Almolón, they are insufficient and discharge is more than six months for this, the Comisión Nacional del Agua propose to build a new tunnel.

The objective of this investigation was evaluate the environmental impact on RBBM's biodiversity in categories of Ecology and Environmental Pollution of the Batelle Columbus method (BCM), that the construction' new tunnel will generate in the lagoon Metztlán, State of Hidalgo. It was identified 42 environmental factors that are susceptible to have an effect on tunnel's construction through Importance's matrix, the activities more incidental are opening way and protection's works. According BCM, the neat global impact of the project is 223.6 unities of environmental impact from 1 000 unities so to say, 22.3 % of the maximum impact and the category more affected is Ecology with 4.7 %. Although the neat global impact is acceptable and it will affect only 6.68 % of the RBBM's area, the alert system point to the biodiversity. It is recommendable that the tunnel's operation phase be under an Operation's Regulation that avoids venting on dry season and only liberating the excess volume to the environmental volume of Optimum Status.

**Key words:** environmental impact, neat global impact

## **AGRADECIMIENTOS**

Al pueblo mexicano, que gracias a su contribución y a través de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología financió mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados que me acogió y me brindó la oportunidad de formarme académicamente.

A Hidrociencias que me dio las facilidades para culminar mis estudios y desarrollar esta tarea, así como a los profesores del programa por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Abel Quevedo Nolasco por la dirección de este trabajo, sus enseñanzas y consejos en la academia y de vida, por su apoyo incondicional e invaluable amistad.

Al Dr. Juan Enrique Rubiños Panta por su enseñanza en clase, su valiosa revisión y aportación a este trabajo, por su apoyo y aprecio.

Al Dr. Iouri Nikolskii Gavrilov, por su protección y confianza.

A la Dra. Elizabeth Hernández Acosta por las observaciones y aportaciones en la realización de este documento.

A los Ing. Rosalba Montelongo Casanova, Rubén Armendáriz Rubio y Rubén Ramírez Luna de la Comisión Nacional del Agua del Estado de Hidalgo y a la Ing. María Eugenia Mendiola de la Dirección de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán, quienes proporcionaron información para realizar este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la oportunidad de la vida y del progreso.

A mis padres Francisco Mendoza y Marina Cariño por su amor y apoyo incondicional en todo momento, por su confianza y fe en mí. Por cuidar a mi hija cuando estoy ausente y porque nos han dado un hogar maravilloso.

A mi hija Miranda por ser mi alegría, mi orgullo y mi motor de vida. A quien privé de tiempo para cumplir esta meta.

A mis hermanos Francisco y Daniel por su apoyo y cariño, por la hermosa familia que tenemos.

A Viviana María Arteaga Cortéz, porque al cursar nuestros estudios de postgrado surgió una bonita y sincera amistad.

A Alejandro Romero Bautista, por su aprecio y consejo en momentos difíciles.

A Pedro Rios González por su amistad y apoyo, y a los demás compañeros del COLPOS, por su fraternidad y aliento en clase.

**CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>I. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos particulares.....	3
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Hipótesis particulares.....	4
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	5
2.1.1 Marco legal.....	5
2.1.2 Definición y procedimiento.....	7
2.1.3 Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental .....	10
2.1.3.1 Antecedentes de la matriz de importancia: valoración cualitativa..	11
2.1.3.2 Método Batelle Columbus (MBC): valoración cuantitativa.....	12
2.1.3.2.1 Funciones de transformación.....	16
2.1.4 Medidas correctivas.....	19
2.1.5 Programa de vigilancia y control.....	20
2.2 Caudal Ecológico.....	20
2.2.1 Antecedentes y marco legal.....	20
2.2.2 Definición de caudal ambiental.....	21
2.2.3 Métodos para definir el caudal ambiental.....	23
2.2.3.1 Cuadros de consulta.....	23
2.2.3.2 Análisis por computadora.....	24
2.2.3.3 Análisis funcional.....	24
2.2.3.4 Modelos de hábitat.....	25
2.2.4 Método Tennant.....	26
2.3 Conclusión de la revisión bibliográfica.....	27
<b>III. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA.....</b>	<b>28</b>
3.1 Ubicación y características del túnel propuesto.....	28

3.2	Proceso de construcción .....	30
3.2.1	Túnel propuesto.....	30
3.2.1.1	Emportalamientos.....	30
3.2.1.2	Canal de llamada.....	31
3.2.1.3	Ataguías.....	31
3.2.1.4	Canal de salida.....	32
3.2.2	Camino de acceso.....	33
3.2.3	Obras de protección.....	33
3.3	Bancos de material.....	34
3.4	Programa de obra.....	35
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODO.....</b>	<b>36</b>
4.1	Descripción del sistema ambiental.....	36
4.1.1	Localización de la zona de estudio.....	36
4.1.2	Aspectos abióticos.....	38
4.1.2.1	Clima.....	38
4.1.2.2	Fenómenos meteorológicos.....	39
4.1.2.3	Fisiografía .....	39
4.1.2.4	Geología.....	40
4.1.2.5	Edafología.....	41
4.1.2.6	Hidrología superficial y subterránea.....	42
4.1.3	Aspectos bióticos.....	44
4.1.3.1	Tipos de vegetación.....	44
4.1.3.3	Fauna.....	55
4.1.4.	Aspectos sociales y económicos.....	59
4.2	Metodología.....	63
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
5.1	De la obra y biodiversidad de la zona de interés.....	66
5.1.1	Construcción del túnel, obras de protección y presupuesto.....	66
5.1.2	Flora y fauna.....	68



5.2	Identificación de variables, actividades e impactos ambientales.....	70
5.2.1	Identificación de variables y actividades en la obra .....	70
5.2.2	Valoración cualitativa: matriz de Importancia.....	71
5.3	Valoración cuantitativa: método Batelle Columbus.....	75
5.3.1	Determinación del valor de los parámetros Sin Proyecto.....	75
5.3.1.1	Generación del escenario: inundación	76
5.3.2	Condición hidrológica actual de la laguna Metztitlán.....	91
5.3.2.1	Relación elevaciones - áreas - capacidades .....	91
5.3.2.2	Análisis de los escurrimientos históricos en la cuenca Metztitlán....	94
5.3.3	Generación del escenario Con proyecto: operación del túnel .....	95
5.3.3.1	Escurrimientos probables en la cuenca Metztitlán.....	95
5.3.3.2	Volúmenes disponibles en la laguna Vs Caudales ambientales.....	96
5.3.4	Valoración de los parámetros Con proyecto.....	99
5.3.4.2	Parámetros que modifican su ICA al operar el túnel propuesto.....	99
5.3.4.3	Parámetros que conservan su ICA al operar el túnel propuesto....	101
5.3.5	Determinación del impacto global.....	102
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>109</b>
 <b>ANEXOS</b>		
A.	Listado florístico.....	120
B.	Listado faunístico.....	125
C.	Matriz de Importancia.....	134
D.	Funciones de transformación del método Batelle Columbus.....	138
E.	Registro histórico de escurrimientos mensuales en la cuenca de Metztitlán, 1936-2008.....	146
F.	Sistema de valoración del método Batelle Columbus.....	149

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		
2.1	Clasificación de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental.....	11
2.2	Importancia del impacto ambiental.....	12
2.3	Niveles de organización de variables ambientales.....	13
2.4	Comparación de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental.....	16
2.5	Ejemplos de objetivos, enfoques y métodos para caudal ambiental	23
2.6	Caudales recomendados según Tennant, 1976.....	27
3.1	Características de los túneles uno, dos y propuesto.....	28
3.2	Coordenadas geográficas de los bancos de material.....	35
3.3	Características de los bancos de material.....	35
3.4	Programa de construcción del túnel.....	35
4.1	Clima de la laguna y poblado Metztlán y San Cristóbal.....	38
4.2	Promedios mensuales de temperatura y precipitación .....	39
4.3	Características de la laguna Metztlán.....	43
4.4	Balance hídrico del agua subterránea.....	44
4.5	Cultivos en diferentes ciclos en el Distrito de riego 08, 2008-2009.....	61
4.6	Producción agrícola del Distrito de riego 08, 2008-2009.....	61
4.7	Infraestructura hidráulica del Distrito de riego 08.....	62
4.8	Tenencia de la tierra en el municipio Metztlán .....	62
4.9	Redistribución de Índices Ponderales.....	64
5.1	Volumen de material requerido (m <sup>3</sup> ).....	66
5.2	Flora y fauna con estatus crítico, NOM-059-SEMARNAT-2001.....	69
5.3	Resumen de la matriz de Importancia, valores máximos y porcentajes.....	72
5.4	Porcentaje de la importancia del impacto con respecto a su valor máximo.....	74
5.5	Clasificación de impactos por importancia.....	74

5.6	Área de influencia del proyecto.....	75
5.7	Impactos fuera del área de influencia	75
5.8	Superficie sembrada por tipo de cultivo, ciclo agrícola 2008-2009..	78
5.9	Tipos de vegetación e índices de productividad.....	79
5.10	Especies en la NOM-059-SEMARNAT-2001.....	82
5.11	Parámetros que indican la calidad ambiental del agua.....	85
5.12	Áreas y volúmenes parciales por intervalos de cota, laguna Metztitlán.....	93
5.13	Volúmenes de desfogue de la laguna Metztitlán (millares de m <sup>3</sup> )...	96
5.14	Caudales ambientales propuestos por el método Tennant.....	97
5.15	Relación de Elevaciones – $\Delta$ Áreas – $\Delta$ Capacidades de volumen disponible Vs Rango óptimo (millares de m <sup>3</sup> ).....	98
5.16	Valoración de impactos con el método Batelle Columbus.....	102

## LISTA DE FIGURAS

### Figura

1	Inundación en el municipio Metztlán, Hidalgo en 1999.....	2
2.1	Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).....	9
2.2	Contenido del Estudio de Impacto Ambiental .....	10
2.3	Parámetros del método Batelle Columbus.....	14
2.4	Formas básicas de las funciones de transformación .....	18
3.1	Ubicación de los túneles.....	28
3.2	Diseño del túnel.....	29
3.3	Corte del canal de llamada y ataguía.....	32
3.4	Camino de acceso.....	33
4.1	Localización del área de influencia.....	37
4.2	Tipos de vegetación en el área de influencia del proyecto y alrededores.....	54
4.3	Distribución de edades de la población de Metztlán, 2005.....	59
4.4	Población con seguro médico en Metztlán, 2005 .....	60
4.5	Hogares con beneficios adicionales en Metztlán, 2005.....	60
4.6	Metodología de Evaluación de Impacto Ambiental.....	64
5.1	Distribución del uso del material .....	67
5.2	Distribución de los costos en la construcción del túnel propuesto....	67
5.3	Costo de las obras de protección.....	67
5.4	Inundación del Distrito de riego en octubre de 1999.....	76
5.5	Variaciones del nivel del agua en las márgenes.....	88
5.6	Curva de Elevaciones-áreas-capacidades para la laguna de Metztlán.....	92
5.7	Curva de Elevaciones-áreas-capacidades, cota 1 232-1 239.....	92
5.8	Disponibilidad Vs Caudal ambiental, meses de enero-junio.....	97
5.9	Disponibilidad Vs Caudal ambiental, meses de julio-diciembre .....	98

## **ABREVIATURAS**

BBM	Building Block Methodologies
DOF	Diario Oficial de la Federación
DR-08	Distrito de Riego 08
EsIA	Estudio de Impacto Ambiental
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
ICA	Índice de Calidad Ambiental
IP	Índice Ponderal
MBC	Método Batelle Columbus
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental
NOM	Norma Oficial Mexicana
UIA	Unidades de Importancia Ambiental
PHABSIM	Physical Habitat Simulation

## **SIGLEMAS**

ANP	Área Natural Protegida
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DGOEIA	Dirección Gral.de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental
INE	Instituto Nacional de Ecología
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
NEPA	National Environmental Policy Act
RBBM	Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

## INTRODUCCIÓN

En México, las obras y proyectos que pueden causar efectos negativos o desequilibrio ecológico en el ambiente son diversos, entre éstos se encuentran los que se asocian con las obras hidráulicas y deben, someterse a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de acuerdo al Artículo 28 Fracción I de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, LGEEPA (DOF 28/enero/1998 y Reformada 16/mayo/2008).

En la cuenca del río Metztlán, Estado de Hidalgo, se ubica el Distrito de Riego 08 (DR-08), y la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztlán (RBBM) parte Norte. La RBBM representa un 33.2 % de la cuenca, el DR-08 representa un 2 % de la cuenca y a su vez este representa el 6.1 % del área de la RBBM.

La zona aledaña a la laguna Metztlán y al río del mismo nombre hasta aproximadamente Puente Venados, presenta frecuentes inundaciones a causa del desbordamiento de la laguna y del río. Las avenidas extraordinarias que se presentan llenan rápidamente la laguna, la cual tiene poco volumen de almacenamiento e insuficiente capacidad de desfogue; lo que inunda la zona agrícola y algunas localidades aledañas y destruye la infraestructura hidroagrícola del DR-08, de las localidades urbanas y caminos, que a su vez repercute en la sociedad y el ambiente (Figura 1).

Debido a que las inundaciones ocurren con una frecuencia de inundación cada 2.5 años (CNA, 2003) y duran más de seis meses, existe afectación al sistema productivo en casi la totalidad del DR-08 y posiblemente a la biodiversidad en un pequeño porcentaje del área de la RBBM que forma parte del área que se inunda, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) propone la construcción de un túnel adicional de desfogue, que permita evacuar más rápidamente los volúmenes de agua que inundan la zona del DR-08 y las localidades, para reducir el tiempo de inundación.

Aunque los fines son ayudar a la población y al sistema productivo al reducir los impactos de la inundación, esta obra no es aceptada por la RBBM, que argumenta que la construcción del tercer túnel adicional, podría usarse para extraer agua de la laguna hasta ciertos niveles que afectaría la biodiversidad que se conserva y protege dentro de la RBBM.



Figura 1. Inundación en el municipio Metztlán, Hidalgo en 1999

Por tal motivo, la presente tesis plantea los siguientes objetivos:

## **I. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar el impacto ambiental en el área de influencia del proyecto con base en las categorías Ecología y Contaminación del método Batelle Columbus, que generará la construcción del túnel de desfogue propuesto para la laguna Metztitlán en el Estado de Hidalgo.

### **1.2 Objetivos particulares**

- 1.2.1 Identificar los componentes ambientales de las categorías Ecología y Contaminación propuestos por el método Batelle Columbus que se afectarán por el proyecto en la RBBM.
- 1.2.2 Estimar la importancia de los impactos en las categorías de Ecología y Contaminación que se presentan la RBBM por la construcción del túnel adicional de desfogue mediante los criterios del método Batelle Columbus.
- 1.2.3 Estimar el caudal ecológico según el método de Tennant



### **1.3 Hipótesis**

1.3.1 El impacto ambiental será crítico en la biodiversidad y recursos naturales de las categorías de Ecología y Contaminación a causa del proyecto del túnel propuesto, mismas que se protegen y conservan en la RBBM.

### **1.4 Hipótesis particulares**

1.4.1 El 50% de los componentes de las categorías Ecología y Contaminación propuesto por el método Batelle Columbus se identifican como impactos críticos y severos, en la construcción del túnel adicional del proyecto.

1.4.2 El 50 % de los componentes de la categoría de Ecología y Contaminación se impactarán con una importancia significativa severa y crítica, al considerar su intensidad, extensión, momento, sinergia, etc.

1.4.3 El método Tennant para la estimación del caudal ecológico, permitirá conocer en la evaluación de impactos Con proyecto del MBC, si habrá un impacto significativo en la biodiversidad y recursos naturales al reducir el volumen de agua en la laguna durante la operación del túnel.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

#### 2.1.1 Marco legal

La EIA es un instrumento que apareció por primera vez en los Estados Unidos, dentro de la Ley Nacional de Política Ambiental (National Environmental Policy Act, NEPA) en 1969 (Rau, 1980). Se creó como un mecanismo de declaración del Impacto Ambiental, que hace al promovente responsable cuando se estima que una acción federal puede afectar de manera significativa la calidad del ambiente humano.

La EIA se adoptó por varios países; Francia (1976), a través de la Ley sobre la Protección en la Naturaleza (Ley 76/629); la Comunidad Económica Europea (1985) mediante la Directiva 337 sobre EIA, Alemania (1990) en la Ley sobre Compatibilidad Ambiental y España (1986) mediante el Real Decreto 1302 (Brañez, 2000).

Al mismo tiempo, la EIA comenzó a aparecer en el derecho internacional en especial en los tratados sobre el derecho del mar, como el Convenio Regional de Kuwait sobre cooperación para la protección del medio marino (1978), la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982) y el Convenio de Cartagena para la protección y desarrollo del Gran Caribe (1983). También se incorporó a otro tipo de acuerdos internacionales, como la Convención sobre la Evaluación de los efectos en el Medio Ambiente en un contexto transfronterizo en 1991 (Brañez, 2000).

Otro documento, es la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, que se celebró en Río de Janeiro Brasil, en junio de 1992, donde se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); principal programa del organismo a cargo de los asuntos del medio ambiente. Los gobiernos participantes en la cumbre de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo adoptaron el documento, que reafirmó la

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (se aprobó en Estocolmo, Suecia el 16 de junio, 1972) y refiere a la EIA en varios principios (2, 12, 17 y 19), establece entre otras cosas lo que sigue: “*Deberá emprenderse una evaluación de impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente*” Principio 17 (ONU, 1992).

En abril de 1987, la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo publicó el informe "Nuestro Futuro Común" (Informe Brundtland), el cual integró aspectos medioambientales con aspectos económicos y sociales (Reid, 1995) e introdujo el término desarrollo sostenible, que definió como “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

La EIA se acogió por la mayoría de los países de América Latina. En México, el primer instrumento jurídico fue la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental que surgió en 1971 (DOF 23/marzo/1971), que se originó de la legislación estadounidense NEPA y tuvo por objetivo regular las actividades humanas para evitar, prevenir y controlar la contaminación ambiental (DOF 23 marzo 1971).

En 1982, surgió la Ley Federal de Protección al Ambiente (DOF 11/enero/1982) que abrogó a la Ley anterior y tuvo por objeto establecer normas para la conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del medio ambiente, de los recursos naturales que lo integran y para prevenir y controlar los contaminantes y causas reales que los originan (Brañez, 2000). Incorporó los términos *Impacto Ambiental* y *Manifestación de Impacto Ambiental* y estipuló los casos en que los particulares deberían presentar el documento.

El inicio formal del procedimiento de EIA ocurrió en 1988, con la publicación de la LGEEPA y su Reglamento en materia de EIA, la cual ha sufrido reformas a la fecha para resolver deficiencias del proceso de EIA, pero el Reglamento

vigente se reformó en el año 2000.

De acuerdo a Bruhn y Eklund (2002), la EIA puede ser una herramienta útil para promover los objetivos del desarrollo sustentable. Incluso la EIA puede proporcionar información útil para la toma de decisiones al saberse las posibles consecuencias ambientales de un proyecto en una fase temprana de su desarrollo. A partir de esto, el diseño del proyecto puede ser modificado para evitar efectos adversos (Wathern, 1988).

### **2.1.2 Definición y procedimiento**

La EIA es un proceso que se establece con base en un conjunto de estudios, sistemas técnicos y administrativos, que busca integrar aspectos ambientales y criterios de sostenibilidad en la elaboración y adopción de planes, programas y proyectos para que, a la vista de un conjunto de alternativas en consideración, se elija la más adecuada y se prevengan y corrijan los efectos negativos sobre el medio ambiente y bienestar humano.

De acuerdo a la LGEEPA, *“la evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las obras o actividades que se señalan en el Artículo 28, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría”*.

En México, la EIA consiste en que el promovente presenta al Instituto Nacional de Ecología (INE) un Informe Preventivo (en caso de que se encuentre en alguno de los supuestos del Artículo 31 de la LGEEPA) o una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). Además, se presenta un estudio de riesgo en caso de

actividades altamente riesgosas en términos de la LGEEPA, para su evaluación y dictaminación. La Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental (DGOEIA) notifica el hecho a los gobiernos estatales y municipales que se involucran, se integra el expediente respectivo en un plazo no mayor a 10 días y se pone a disposición del público para su consulta en el Centro de Documentación del INE y la delegación federal correspondiente y página web del INE, acorde al Reglamento.

En un plazo no mayor a 20 días para Informes Preventivos y 60 días para las MIA, que se cuentan a partir de la recepción de los estudios y ya que se terminó su evaluación, la DGOEIA puede autorizar en los términos solicitados, de manera condicionada o bien, negar la autorización.

En caso de solicitar más información, aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones del contenido de la MIA, se puede suspender el tiempo que reste para concluir el proceso y, si la complejidad y dimensiones de la obra o actividad lo ameritan, el plazo para finalizar la evaluación se puede ampliar hasta los 60 días (Artículo 35 Bis de la LGEEPA).

Cualquier persona de la comunidad donde se realice el proyecto puede solicitar una consulta pública (Artículo 34 de la LGEEPA), y el INE deberá realizarlo en coordinación con el promovente y autoridades locales. El proceso de evaluación puede durar hasta 120 días y, si se requiere de mayor información, el lapso puede aumentar hasta que se presente la información requerida. El proceso de EIA se resume en la Figura 2.1 (INE, 2000).

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es un documento técnico de carácter interdisciplinar, que forma parte del proceso de EIA y que predice, identifica, valora y corrige las consecuencias y efectos negativos que acciones humanas afecten la calidad de vida humana y su entorno. Implica varias etapas: definición del proyecto, alcance y efectos de identificación, predicción y evaluación del impacto, mitigación del impacto y la indemnización, y el diseño de sistemas de vigilancia (Antunes, *et al.*, 1996).

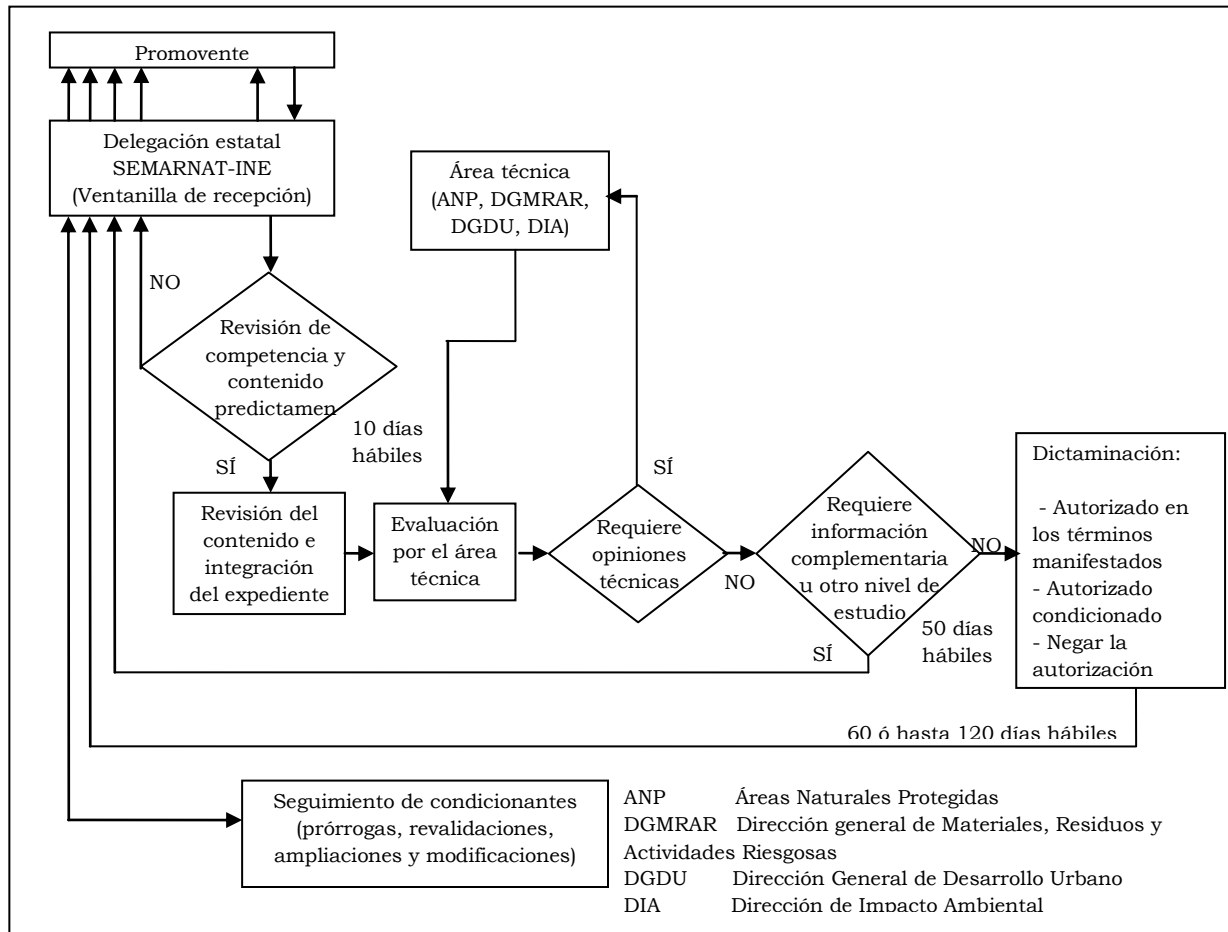


Figura 2.1. Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

1. *Definición del proyecto* y alternativas para conocerlo a profundidad.
2. *Descripción del entorno del proyecto*. Fase de búsqueda de información y diagnóstico, para entender el funcionamiento del medio sin proyecto, las causas históricas que lo han causado y la evolución previsible sin obra.
3. *Previsión de efectos* que generará el proyecto sobre el medio. Implica una primera aproximación al estudio de acciones y efectos.
4. *Identificación de las acciones* del proyecto potencialmente impactantes.
5. *Identificación de los factores del medio* potencialmente impactados.
6. *Identificación de relaciones causa-efecto* entre acciones del proyecto y factores del medio. Elaboración de la matriz de importancia y valoración cualitativa del impacto.
7. *Predicción de la magnitud del impacto* sobre cada factor.

8. *Valoración cuantitativa del impacto ambiental*, incluye transformación de medidas de impactos inconmensurables a conmensurables de calidad ambiental y suma ponderada de ellos para obtener el valor total.
9. *Definición de medidas correctoras*, preventivas y compensatorias del programa de vigilancia ambiental, para verificar su operatividad.
10. *Proceso de participación pública*, particulares, agentes sociales y organismos interesados.
11. *Redacción del informe final*.
12. *Decisión del órgano competente*.

En la Figura 2.2, se muestra el contenido del EsIA (Conesa, 2003).

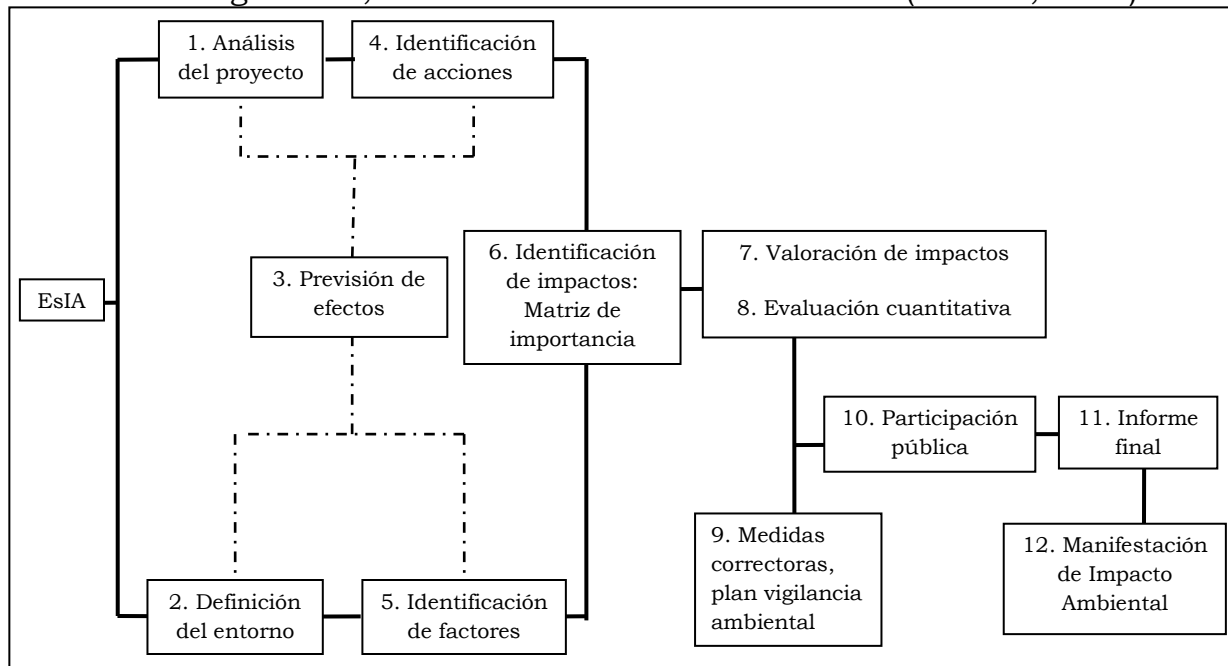


Figura 2.2. Contenido del Estudio de Impacto Ambiental

### 2.1.3 Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental

Existen numerosas metodologías que se usan en el proceso de EIA (Cuadro 2.1), algunas pretenden ser universales y otras específicas para ciertas situaciones o aspectos concretos. Pueden ser cualitativas (listas de chequeo); son preliminares y valoran diferentes alternativas en un mismo proyecto, ó

bien cuantitativas, que evalúan sistemáticamente los impactos ambientales de un proyecto mediante el empleo de indicadores homogéneos. Pero ninguna por sí sola se puede usar para satisfacer la variedad y tipo de actividades que intervienen en el EsIA. Además, no tienen aplicación uniforme en todos los países, dado las diferencias en materia de legislación, marco de procedimiento, datos de referencia, programas y estándares ambientales, entre otras.

Cuadro 2.1. Clasificación de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental

<b>Tipo</b>	<b>Metodología</b>
Sistemas de red y gráficos	Matrices causa-efecto y listas de chequeo
	Banco Mundial
	Boreano
	Sorensen
	Guías metodológicas del MOPU
Sistemas cartográficos	Superposición de transparentes
	Mc Harg
	Tricart
Métodos que se basan en indicadores	Falque
	Holmes
	Universidad de Georgia
Métodos cuantitativos	Hill-Schechter
	Batelle Columbus

Fuente: Estevan, 1984.

### 2.1.3.1 Antecedentes de la matriz de importancia: valoración cualitativa

Al identificar las acciones del proyecto y los factores del medio que serán probablemente impactados, cada casilla de cruce en la matriz dará una idea del efecto de cada acción sobre cada factor ambiental, al que se denomina *importancia del impacto* (Arribas y Rodríguez, 2004). Mide cualitativamente el impacto en función del grado de incidencia o intensidad de alteración que se producirá, como la caracterización del efecto que responde a una serie de atributos cualitativos (extensión, tipo de efecto, reversibilidad, recuperabilidad, plazo de manifestación, acumulación, sinergia y periodicidad (Cuadro 2.2).



Cuadro 2.2. Importancia del impacto ambiental

<b>Naturaleza</b>		<b>Intensidad (I)</b>		<b>Extensión (EX)</b> Área de influencia	
Impacto beneficioso	+	Baja	1	Puntual	1
Impacto perjudicial	-	Media	2	Parcial	2
		Alta	4	Extenso	4
		Muy alta	8	Total	8
		Total	12	Crítica	(+4)
<b>Momento (MO)</b>		<b>Persistencia (PE)</b>		<b>Reversibilidad (RV)</b>	
Plazo de la manifestación		Permanencia del efecto			
Largo plazo	1	Fugaz	1	Corto plazo	1
Medio plazo	2	Temporal	2	Medio plazo	2
Inmediato	4	Permanente	4	Irreversible	4
Crítico	(+4)				
<b>Sinergia (SI)</b>		<b>Acumulación (AC)</b>		<b>Efecto (EF)</b>	
Regularidad de manifestación		Incremento progresivo		Relación causa- efecto	
Sin sinergismo (simple)	1	Simple	1	Indirecto (secundario)	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4	Directo	4
Muy sinérgico	4				
<b>Periodicidad (PR)</b>		<b>Recuperabilidad (MC)</b>		<b>Importancia (I)</b>	
Regularidad de manifestación		Por medios humanos			
Irregular, aperiódico	1	De manera inmediata	1	$I = \pm ( 3 I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC )$	
o discontinuo		A medio plazo	2		
Periódico	2	Mitigable	4		
Continuo	4				

La importancia del impacto se representa por la siguiente ecuación:

$$I = \pm [ 3 I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC ] \quad (2.1)$$

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100, donde los impactos con valores inferiores a 25 son irrelevantes y compatibles con el medio ambiente, los impactos moderados presentan una importancia entre 26-50, los impactos severos entre 51-75 y los críticos cuando el valor es superior a 75.

### 2.1.3.2 Método Batelle Columbus (MBC): valoración cuantitativa

Este método se diseñó en 1973 para evaluar el impacto de proyectos relacionados con recursos hídricos, como presas o áreas de riego, aunque en la actualidad también se utiliza para valorar proyectos de líneas eléctricas, plantas nucleares y otros (Espinoza, 2001).

El sistema tiene cuatro niveles o cuatro categorías ambientales que son: Ecología, Contaminación ambiental, Aspectos estéticos e Interés humano (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Niveles de organización de variables ambientales

<b>Nivel</b>	<b>Tipo de información</b>	<b>Desagregación propuesta</b>
I	General	Categoría ambiental (4)
II	Intermedia	Componente ambiental (18)
III	Específica	Parámetro ambiental (78)
IV	Muy específica	Medida ambiental (1000)

Fuente: Modificado de Espinoza, 2001.

Dentro de cada categoría existen componentes ambientales (en total 18) que se distribuyen de la siguiente forma:

1. Ecología: especies y poblaciones, hábitat y comunidades y ecosistemas
2. Contaminación ambiental: agua, atmósfera, suelo y ruido.
3. Aspectos estéticos: suelo, aire, agua, biota, objetos y construcciones humanas y composición.
4. Intereses humanos: educación-científicos, históricos, cultura, sensaciones y estilo de vida.

Dentro de cada componente, una lista de verificación que contempla la descripción de factores ambientales, la ponderación valórica de cada parámetro y la asignación de unidades de importancia. Estudia las posibles alteraciones y las valora con y sin proyecto para luego cuantificar la pérdida de calidad de cada uno de los elementos identificados en la lista preestablecida, así como la pérdida global de calidad de los elementos impactados. El método contempla 78 parámetros que pueden verse en la Figura 2.3.

A cada parámetro se le asigna una importancia relativa, con base en el juicio del grupo de expertos a cargo de la evaluación del proyecto, con información

obtenida de los actores involucrados universidades, empresas, comunidad, gobierno local, organismos no gubernamentales, etc.

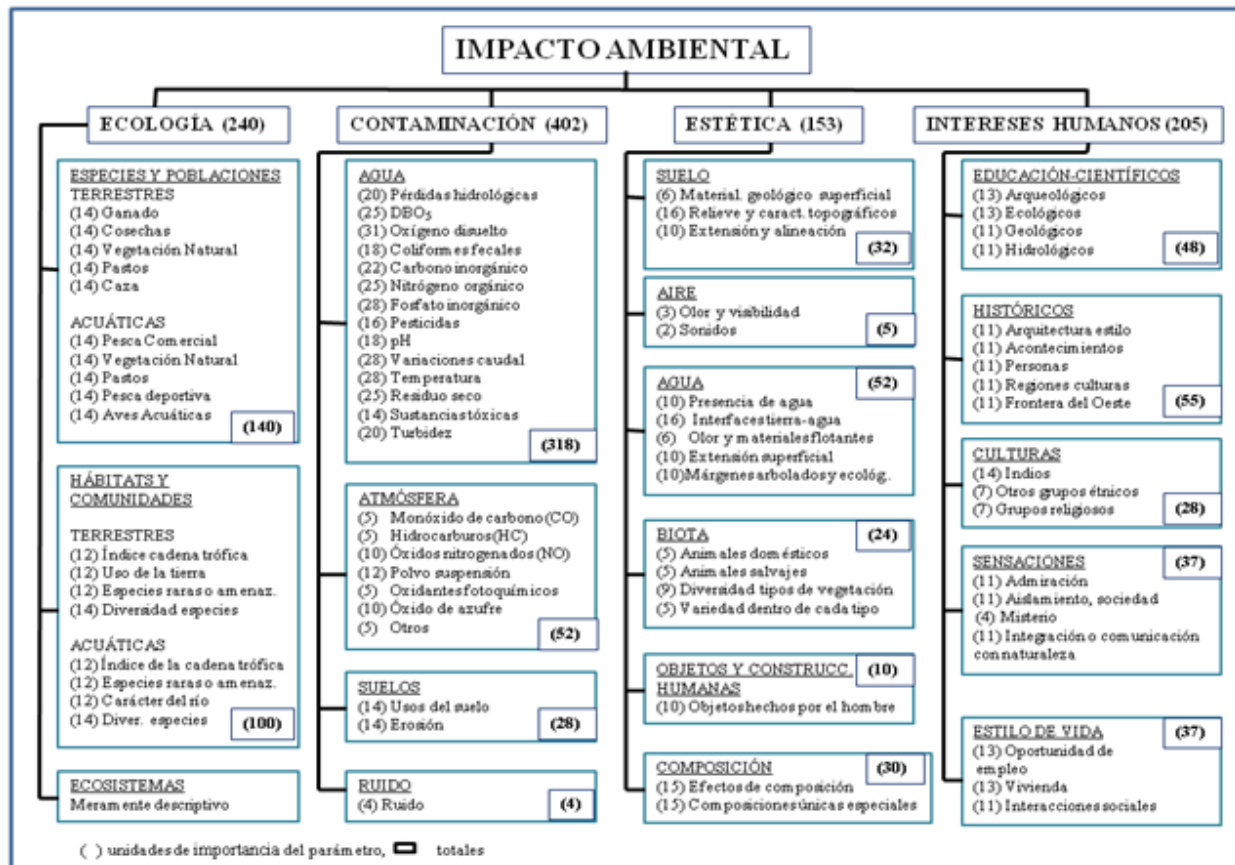


Figura 2.3. Parámetros del método Batelle Columbus

Se estima la calidad ambiental esperada Sin proyecto y a continuación Con proyecto. La diferencia en unidades de impacto ambiental entre las dos condiciones puede resultar:

- Positiva, donde la calidad ambiental de la situación con proyecto supera la de la situación sin proyecto, y el impacto global es benéfica.
- Negativa, donde ocurre la calidad ambiental de la situación con proyecto es menor a la de la situación sin proyecto y el impacto global es adverso.
- Cero, no existe impacto agregado global.

La ponderación que presenta Batelle Columbus no es definitiva, depende de la

naturaleza y objetivo del proyecto, por lo que puede modificarse la ponderación según los objetivos del proyecto.

Para la transformación de unidades de las estimaciones de parámetros ambientales a una escala de calidad ambiental, con valores entre cero y uno, se utilizan funciones gráficas entre la calidad ambiental y las características de cada uno (Anexo C).

De los resultados del cálculo de las Unidades de Impacto Ambiental (UIA) Con y Sin proyecto, se hace la diferencia entre éstos y las señales de alerta para parámetros con cambios significativos se vierten en una planilla para luego elaborar la planilla resumen de impactos ambientales del proyecto.

Ventajas del método (Espinoza, 2001):

- Obtención de resultados cuantitativos.
- Es un método sistematizado para la comparación de alternativas. Induce a la decisión, pues obtiene la cifra de alteración de calidad ambiental para cada alternativa.
- Validez del método para apreciar la degradación del medio como resultado del proyecto, totalmente y en sus distintos sectores.
- Asignación de Índices Ponderales (IP) mediante el consenso de un grupo multidisciplinario de expertos, que minimiza la subjetividad de un solo individuo o de un grupo dominante, que se denomina método Delphi. Consiste en consultas a un grupo de expertos que se familiarizan con un proyecto, permite identificar una gama amplia de impactos más que definir parámetros específicos para aspectos a considerar en el futuro, establecer medidas de mitigación y disponer de procedimientos de seguimiento y control (Espinoza, 2001).
- De acuerdo a SEMARNAT (2002), este método en comparación con otros, es de mayor función utilitaria al identificar, predecir e interpretar los impactos ambientales (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Comparación de métodos de Evaluación de Impacto Ambiental

	<b>Identificación</b>	<b>Predicción</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Comunicación</b>	<b>Inspección</b>	<b>Valor</b>
Matriz de Cribaldo	Alta	Alta	Media - alta	Baja - media	Baja	12
Matriz de Leopold	Alta	Media - alta	Media	Baja - media	Baja	10
Diagramas de flujo	Alta	Media	Baja - media	Media - alta	Baja	9
Lista de control	Media	Media - alta	Media - alta	Media	Baja	10
Superposición	Media	Baja	Baja - media	Alta	Media	9
Batelle Columbus	Alta	Alta	Alta	Baja - media	Baja - media	14
Baja - media 1	Media 2	Media - alta 3	Alta 4			

Fuente: SEMARNAT, 2002.

Desventajas (Espinoza, 2001):

- Los ICA disponibles se desarrollaron en Estados Unidos para un medio en particular, por lo que, en rigor, no son válidas para medios distintos.
- Puesto que el método se desarrolló para proyectos hidráulicos, se debe adaptar para proyectos con distinto enfoque.
- La lista de indicadores es limitada y arbitraria, sin tener en cuenta las relaciones entre componentes ambientales o las interacciones causa-efecto.

### 2.1.3.2.1 Funciones de transformación

Al medir los parámetros, los resultados se obtienen en unidades heterogéneas (no comparables) que no se pueden adicionar y en consecuencia, se desconoce el impacto sobre un componente ambiental global para un proyecto determinado. Se requiere homogeneizar las unidades para luego expresarlas en unidades abstractas de valor ambiental (comparable). Es decir, al medir un parámetro, se obtiene su magnitud, que se transforma en el índice de calidad que la magnitud representa, en torno al estado ambiental del indicador.

Este proceso consiste en pasar las magnitudes a una unidad de medida común, denominada unidad de impacto ambiental, donde la función de transformación expresa la relación para cada factor ambiental entre su

magnitud en unidades inconmensurables y el Índice de Calidad Ambiental (ICA) que varía entre cero y uno.

Para obtener valores de calidad comparables, al extremo óptimo de ICA se le asigna el valor de uno, y al más desfavorable de cero, y queda entre ambos extremos los valores intermedios para definir el estado de calidad del factor ambiental. Para cada parámetro se establece una función de evaluación de la ICA del mismo, en función de la magnitud de su indicador.

$$ICA_i = f(M_i) \quad (2.2)$$

La función puede ser lineal o curva, con pendiente positiva o negativa o bien, tener un punto máximo o mínimo intermedio u otro tipo de formas según su correspondiente ICA-magnitud. Se contemplan varias formas básicas de funciones de transformación y cada una se puede adoptar en forma directa o a la inversa (Figura 2.4).

De acuerdo a Conesa (2003), los factores ambientales positivos o benéficos cuya presencia mejora la calidad del medio, presentan funciones directas, con pendiente positiva (calidad del aire, del agua, flora y fauna, paisaje, etc.), mientras que los factores negativos, cuya presencia merma la calidad del medio, presentan funciones inversas con pendientes negativas (nivel de ruido, olores desagradables, etc.).

La magnitud de cada parámetro se debe llevar sobre las abscisas de la función de transformación y obtener en ordenadas el valor del ICA de cada parámetro. Para obtener las funciones de transformación se hace lo siguiente:

- a) Partir de la máxima información que relacione el factor de interés con la calidad medioambiental, tanto científica como la normativa legal y las preferencias sociales en la materia.
- b) En el eje de las abscisas, se crea una escala en la que el menor valor coincide con el cero y el máximo con el extremo derecho de la gráfica.

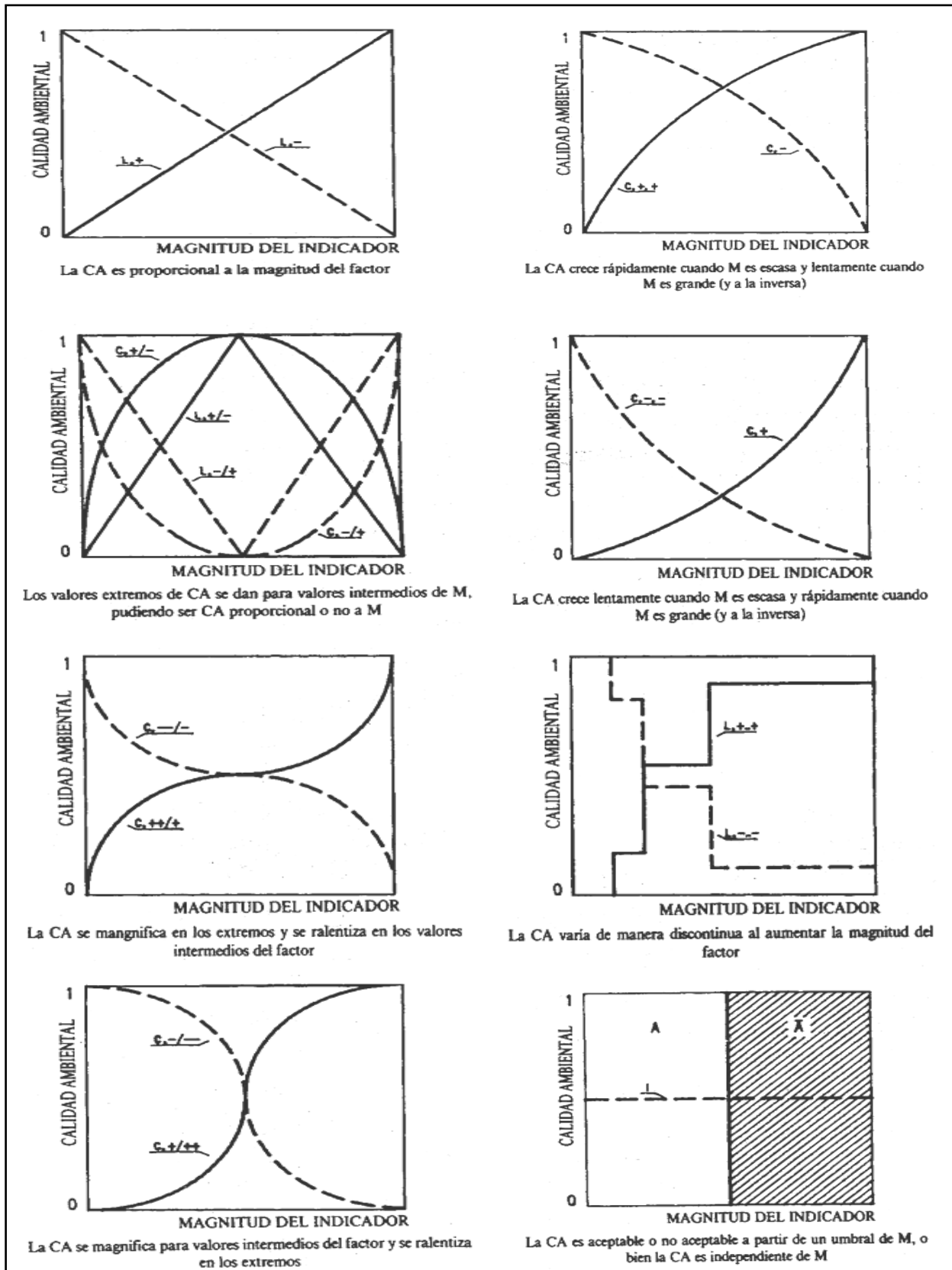


Figura 2.4. Formas básicas de funciones de transformación

- c) En el eje de ordenadas, se sitúa CA= cero en el origen y CA= uno en el extremo superior de la gráfica, que divide al segmento en partes iguales.
- d) Mediante consultas a paneles de expertos se dibuja la función, que expresa la relación entre los intervalos anteriores y la magnitud del afecto sobre el parámetro.

#### **2.1.4 Medidas correctivas**

Son medidas que se hacen sobre el proyecto con el objeto de evitar, disminuir, modificar o compensar el efecto del proyecto en el medio ambiente (rebajar los impactos intolerables, y minimizar todos en general), así como aprovechar mejor las oportunidades que brinda el medio para el mejor éxito del proyecto. Aunque siempre es preferible evitar el impacto que corregirlo, existen los siguientes tipos de medidas correctivas (que se pueden efectuar en cualquiera de las fases de construcción, explotación y/o abandono):

- De minimización: que evitan la aparición del efecto modificando los elementos definitorios de la actividad (tecnología, diseño, traslado, tamaño, materias primas, etc.).
- De corrección, de impactos recuperables dirigidas a anular, corregir o modificar las acciones y efectos sobre: procesos productivos, condiciones de funcionamiento (normas de seguridad, filtros, etc.), factores del medio como agente transmisor (auspiciar la dispersión atmosférica, dilución, etc.), factores del medio como agente receptor (aumento del caudal aireación de las aguas, etc.) otros parámetros (modificación del efecto hacia otro de menos magnitud o importancia).
- De compensación, para impactos inevitables que se compensan en otras zonas, restituyendo lo destruido en otro lugar, (creación de áreas verdes, acciones de efectos positivos).



### **2.1.5 Programa de vigilancia y control**

Se refiere al conjunto de criterios de carácter técnico que con base en la predicción que se realiza sobre los efectos ambientales del proyecto, permite verificar el cumplimiento y la efectividad de las medidas del EsIA, seguir los impactos residuales e imprevistos que se producen tras el comienzo de la explotación, y afecciones desconocidas, accidentales, indirectas, etc. (Conesa, 2003).

En la actualidad la literatura e investigaciones se han centrado en caudales ambientales o ecológicos, y han dejado de lado los volúmenes mínimos necesarios para que la biodiversidad no se afecte.

## **2.2 Caudal Ecológico**

### **2.2.1 Antecedentes y marco legal**

Históricamente, se gestiona el agua a partir de una perspectiva de oferta con énfasis en maximizar el crecimiento económico de una población sin embargo, no se consideran las implicaciones por el exceso del uso del recurso y empeoramiento de la salud de los ríos, lo que llevó a varios países a trabajar en la determinación de caudales ambientales.

El origen del concepto se remonta a Estados Unidos en la década de 1940, donde se reconoció que la causa de perder varias especies de peces de valor comercial (trucha), fue la reducción del volumen de los caudales (King, *et al.*, 1999; Arthington, *et al.*, 2004). En las siguientes décadas, aparecieron las primeras metodologías para su evaluación, como resultado de la nueva legislación ambiental en Estados Unidos, a la par de la construcción de numerosas presas. En otros países como Inglaterra, Nueva Zelanda y Sudáfrica, se inició la determinación de los caudales y se adoptó también en Brasil, Japón y Portugal. En Europa del Este y América Latina, existen pocos avances y escasas publicaciones sobre caudales ambientales (Tharme, 2003).

En el caso de México, existen leyes que contemplan la regulación de los caudales ambientales:

La LGEEPA (DOF 28/enero/1998 y Reformada 16/mayo/2008), en el Artículo 88, Fracción III del Capítulo Aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos señala que:

*“Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua y, la capacidad de recarga de los acuíferos”.*

Mientras que la Ley de Aguas Nacionales (DOF establece en su Título Primero, relativo a Disposiciones Preliminares, Capítulo único, Artículo tres, Fracción LIV, que se entiende por:

*“Uso ambiental o uso para conservación ecológica: El caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema”.*

Pese a los esfuerzos, estas legislaciones no indican la magnitud de éstos ni la manera de determinarlos.

### **2.2.2 Definición de caudal ambiental**

Es importante distinguir entre la cantidad de agua que se necesita para sustentar un ecosistema en su estado cercano a prístino, y la que puede asignarse al mismo luego de un proceso de evaluación ambiental, social y económica, que se denomina caudal ambiental. Es decir, se puede extraer una porción de caudal sin que se deteriore el ecosistema e incluso, contribuir en forma sustancial a la salud del ecosistema (Dyson, *et al.*, 2003). Es por ello,

que el caudal ambiental es un aspecto relevante en una cuenca en los planes de asignación de agua, programas de rehabilitación de ríos y Evaluaciones de Impacto Ambiental.

En el caso de ríos con elevado valor de biodiversidad, se puede establecer un caudal ambiental para preservar el estado natural del sistema fluvial, limitar la cantidad de agua para consumo, desviar agua sólo en épocas de caudal muy alto y prohibir el almacenamiento en embalses (Dyson, *et al.*, 2003).

Es importante mencionar que no existe una definición universal de caudal ambiental e inclusive, se utiliza una gran cantidad de términos para manejar el mismo concepto, como por ejemplo, caudal mínimo, régimen de caudal natural, reserva ecológica, caudal ecológico y reserva ambiental de agua (Moore, 2004).

De acuerdo a Alves y Henriques (1994) y Gordon, *et al.*, (2004), es el caudal que permite asegurar la conservación y el mantenimiento de ecosistemas acuáticos naturales, la producción de especies de interés deportivo o comercial, la conservación y mantenimiento de ecosistemas riparios, así como los aspectos estéticos del paisaje u otros de interés científico o cultural.

Para establecer un caudal ambiental, se necesita identificar objetivos claros en cuanto a la corriente y escenarios para la extracción y utilización, como se aprecia en el Cuadro 2.5.

En los últimos 20 años, se han desarrollado métodos, enfoques y marcos para ayudar a establecer los caudales ambientales, sin embargo, no existe la forma perfecta para evaluarlo, pues cada método, enfoque o marco es adecuado para un conjunto de circunstancias particulares.

Como se puede observar, estos métodos tratan de estimar el caudal mínimo para salvaguardar la biodiversidad que se asocia al ecosistema al considerar una sobreexplotación de recursos hídricos, sin embargo, en casos donde los

ecosistemas presentan inundaciones, no se han desarrollado métodos para estimar volúmenes mínimos que preserven la biodiversidad.

Cuadro 2.5. Ejemplos de objetivos, enfoques y métodos para caudal ambiental

	Objetivo General de Gestión	Objetivo del Caudal/nivel	Enfoque utilizado
<i>Rio Babingley</i>	Conservar una población silvestre de trucha marrón	Curva de duración del caudal ecológicamente aceptable	Modelo de hábitat físico (PHABSIM) y curva de duración del caudal natural apartir del modelo precipitación/derrame
<i>Rio Kennet</i>	Conservar una población silvestre de trucha marrón	Caudal no por debajo del que produciría una disminución de más del 10% del hábitat físico, de la trucha marrón	Modelo de hábitat físico (PHABSIM)
<i>Rio Avon</i>	Proteger la migración del salmón	Caudales mínimos en época críticas del año	Rastreo por radio del salmón
<i>Humedales Pevensey Levels</i>	Restaurar y mantener la ecología en los niveles de 1970	Mantener los niveles de agua de acequias en no más de 300 mm por debajo del nivel del terreno en Mar-Set y en no más de 600 mm en Oct-Feb	Opinión de expertos en investigación sobre las necesidades del agua de la ecología de especies en humedales
<i>Somerset Moors and Levels</i>	Restaurar las cifras de vadeos de cría de 1970	Elevar los niveles de agua en invierno para producir inundación-salpicadura y conservar los niveles de agua dentro de 200 mm de la superficie en Primavera	Opinión de expertos sobre ecología de aves de vadeo
<i>Chippenham, Wicken, Fulbourn Fens</i>	Protección de comunidades de vegetación	Caudales meta definidos en el Río Grande y Lodes	Modelo de agua subterránea Lodes-Grantá. Pruebas de bombeo. Estudios Hidrológicos

Fuente: Dyson, *et al.*, 2003.

### 2.2.3 Métodos para definir el caudal ambiental

En términos generales, se pueden clasificar en cuatro tipos: cuadros de consulta, análisis por computadora, análisis funcional y modelos de hábitats

#### 2.2.3.1 Cuadros de consulta

Se basan en índices hidrológicos sencillos y se utilizan para definir reglas de operación en presas o estructuras de extracción cuando no existen datos ecológicos o son escasos. Un ejemplo es el método Tennant (Tennant, 1976), donde se especifican porcentajes del caudal anual medio, que proveen hábitats de diferente calidad para peces; el 10 % para calidad escasa (supervivencia), 30 % para hábitat moderado (satisfactorio) y 60 % para hábitat excelente.

Este tipo de métodos tiene la ventaja de requerir pocos recursos para su aplicación. No hay indicio de que los índices hidrológicos son transferibles entre regiones, pero son rápidos cuando en este caso se recalibran.

### **2.2.3.2 Análisis por computadora**

Los métodos de análisis por computadora utilizan datos hidrológicos e hidráulicos (forma del canal) ó datos ecológicos. Los métodos de análisis hidrológico examinan el régimen de caudal fluvial y tienen como fundamento, conservar la integridad, la estacionalidad natural y la variabilidad de caudales, incluyendo inundaciones y caudales bajos, un ejemplo es el método Richter (Richter, *et al.*, 1996). Pese a la complejidad de estos métodos, no existe investigación suficiente para relacionar las estadísticas de caudal con elementos específicos del ecosistema.

También existen métodos de valoración hidráulica (Jowett, 1997) que utilizan cambios en variables hidráulicas, como las que consideran el perímetro húmedo y área de lecho sumergido, con ello se consiguen índices sencillos de hábitat disponible en un río en una descarga dada. La ventaja del método radica al abordar directamente las dos áreas que preocupa (caudal y ecología), y toma en cuenta en forma directa la naturaleza del río en cuestión, pero tiene las desventajas de derivar índices bióticos sensibles sólo a caudales y no a otros factores, como estructura del hábitat y calidad del agua. Además, la ausencia de datos hidrológicos ó biológicos es un factor limitante.

### **2.2.3.3 Análisis funcional**

Estos métodos vinculan los aspectos hidrológicos y ecológicos del sistema fluvial, que utiliza de manera importante a expertos. El más conocido es la Building Block Methodology (BBM metodología de bloques de construcción), desarrollada en Sudáfrica (King, *et al.*, 2000). La premisa básica de la BBM es que las especies fluviales dependen de elementos básicos (bloques de

construcción) del régimen de caudal, que incluyen caudales bajos e inundaciones, para conservar la dinámica de sedimentos y la estructura geomorfológica del río.

La BBM gira en torno a un grupo de expertos de las áreas de Hidrología, Hidro-geología, Física, Geomorfología, Biología, Entomología acuática y Botánica, que siguen una serie de pasos, evalúan datos disponibles, utilizan resultados de modelos y aplican su experiencia profesional para llegar a un consenso en cuanto a los bloques de construcción del régimen de caudal.

#### **2.2.3.4 Modelos de hábitat**

Debido a la dificultad para relacionar directamente cambios en el régimen de caudal con la respuesta de especies y comunidades, se han desarrollado métodos que utilizan datos sobre hábitats de especies blanco (específica de agua dulce) para determinar el caudal ambiental.

La correspondencia entre caudal, hábitat y especies se puede describir mediante el nexo de las propiedades físicas de tramos del río (por ejemplo, profundidad y velocidad del caudal), en diferentes caudales que se incluyen en el modelo, con las condiciones físicas que las especies claves (animales y plantas) necesitan para luego, relacionar con escenarios de caudal fluvial.

El primero de estos métodos para ríos surge en 1976 y condujo al modelo por computadora PHABSIM (Physical Hábitat Simulation – Simulación de hábitat físico) que aunque llevó a otros modelos, siguen su técnica. El PHABSIM utiliza modelos hidráulicos unidimensionales que manejan condiciones de caudal bajo y genera modelos de velocidades trans-seccionales que se acompañan de representaciones de compatibilidad o preferencia de hábitat para definir cómo el hábitat cambia con el caudal. La magnitud del cambio es específica de la especie bajo estudio, difiere en diferentes etapas de desarrollo de especies individuales.

Una ventaja de los métodos de modelos de hábitats es que se dispone de manuales claros que definen paso a paso los procedimientos. Esto permite la duplicación de resultados por parte de diferentes investigadores, sean estos individuales o equipos. La desventaja de este método es que ha conducido a algunas aplicaciones deficientes por parte de profesionales inexpertos.

#### **2.2.4 Método Tennant**

Este método se basa en los registros históricos del caudal medio anual o en su versión modificada, en los registros históricos del caudal medio mensual. Se desarrolló para determinar caudales mínimos de ríos en el Oeste de Estados Unidos. Tennant (1976) dividió el año en dos periodos: octubre-marzo (periodo seco) y abril-septiembre (periodo húmedo). Propuso caudales que se expresan como porcentajes del caudal medio anual y se relacionan con grados de conservación del hábitat ribereño (Cuadro 2.6), son los siguientes:

El 10 % del caudal medio es el caudal mínimo que se recomienda para mantener un hábitat a nivel de supervivencia en el corto plazo para la mayoría de las formas de vida acuática, aunque se degrada la belleza escénica.

El 30 % del caudal medio se recomienda para mantener un hábitat en estado adecuado para la supervivencia de la mayoría de las formas de vida acuática. La cantidad y calidad del agua son buenas para la pesca, navegación y recreo, mientras que la estética de los ríos y la belleza natural serán satisfactorias.

El 60 por ciento del caudal medio se recomienda para proveer un hábitat excelente a excepcional para la mayor parte de las formas de vida acuática durante sus primeros periodos de crecimiento y para la mayoría de los usos recreativos. La calidad y cantidad de agua es excelente para la pesca, navegación y recreación a la par que la estética y belleza natural de los ríos serán de excelentes a excepcionales.

Cuadro 2.6. Caudales recomendados según Tennant, 1976.

Caudal	Caudales recomendados (% del caudal medio anual)	
	Octubre-marzo	Abril-septiembre
Máximo	200	200
Rango óptimo	60-100	60-100
Excepcional	40	60
Excelente	30	50
Bueno	20	40
Aceptable o en degradación	10	30
Mínimo o pobre	10	10
Degradación severa	< 10	< 10

Fuente: Tennant, 1976.

### 2.3 Conclusión de la revisión bibliográfica

El MBC es cuantitativo y específico para proyectos que se relacionan con recursos hídricos y tiene ventajas sobre otras metodologías de acuerdo a criterios de la SEMARNAT (2002), ver Cuadro 4. Por estas razones, este método se eligió para evaluar el impacto ambiental de la construcción del túnel en la laguna de Metztlán de las categorías de Ecología y Contaminación.

En general, los métodos que determinan el caudal ambiental presentan dificultades para relacionar directamente los cambios en el régimen de caudal con la respuesta de especies y comunidades, ya que actúan para condiciones específicas, donde la magnitud del cambio es concreta para la especie que se estudia según el caso.

Debido a que se requiere un método que ayude a determinar el caudal ambiental para sostener la biodiversidad global de la Barranca de Metztlán y no sea específico para una sola especie y que además se adapte a la poca información disponible y de tiempo en la realización de este proyecto, se eligió el método Tennant.



### III. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

#### 3.1 Ubicación y características del túnel propuesto

La cuenca del río Metztitlán es cerrada y sus escurrimientos arriban a la laguna del mismo nombre. A través de resumideros naturales el agua forma el río Almolón, que descarga en el río Amajac afluente del río Moctezuma, el cual finalmente desemboca en el río Pánuco.

Para que el tiempo de inundación de la laguna fuera menor y se aprovechara el área a su alrededor, se construyó en antaño dos túneles de desfogue cuya ubicación y características aunadas a las del túnel propuesto, se citan en la Figura 3.1 y el Cuadro 3.1 (CNA, 2003).

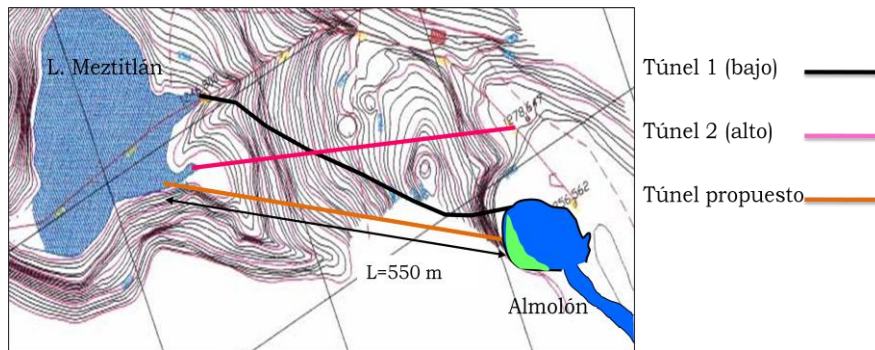


Figura 3.1. Ubicación de los túneles

Cuadro 3.1. Características de los túneles uno, dos y propuesto

Túnel	Elevación de plantilla (m)	Ancho base (m)	Altura total (m)	Gasto máx. m <sup>3</sup> /s
Uno	1 244.74	1.4	2.6	53
Dos	1 232.74	2.4	2.4	11
Propuesto	1 229.45	3.12	3.9	112.5
<b>Gasto máx. combinado (m<sup>3</sup>/s)</b>				<b>176.5</b>

Será un túnel con sección de herradura y se ubicará a 3.3 m del túnel dos, con respecto a su plantilla, con recubrimiento de concreto reforzado y tendrá un área mínima de 13.15 m<sup>2</sup>, permitirá desaguar la laguna hasta la elevación 1 232.74 en 13 días para una avenida de 250 m<sup>3</sup>/s y en 60 días para una avenida de 880 m<sup>3</sup>/s, los detalles de diseño se indican en la Figura 3.2.

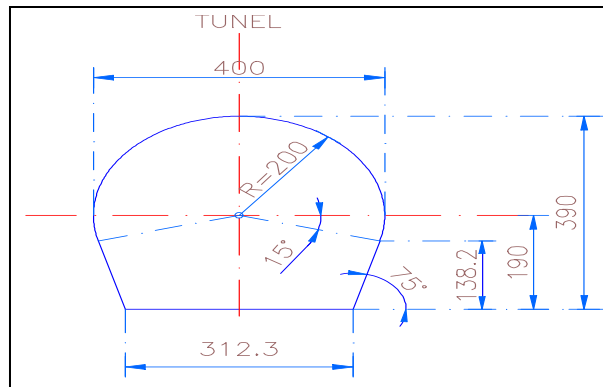


Figura 3.2. Diseño del túnel

Longitud: 550 m

Rugosidad: 0.030

Gasto túnel entrada:  $80 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho de plantilla: 6 m

Gasto túnel salida:  $112 \text{ m}^3/\text{s}$

Elevación de plantilla: 1 229.45 m

Talud: 1.25:1

Tirante crítico: 2.704 m

NAME: 1 252.27

La sección en la salida del túnel tendrá un ancho de 3.125 m y se abrirá gradualmente hasta 4.5 m en una longitud de cinco m. Los taludes tendrán una inclinación de 0.25:1 y altura de seis m, con bermas de 1.5 m de ancho.

La excavación del túnel será en materiales de la Unidad Geológica  $Qt_2$  (corresponde a depósitos de talud, que se forman por fragmentos de roca caliza de tamaño entre 10 y 30 cm embebidos en una matriz areno limosa sin cementación). Su resistencia y deformaciones se rigen por el del conjunto integral matriz – fragmentos.

Toda la longitud del túnel se excavará en estos materiales, que es una formación homogénea en su constitución, pues así se observa en los afloramientos de entrada y salida.

## **3.2 Proceso de construcción**

### **3.2.1 Túnel propuesto**

La excavación será por etapas, con avances de 2.5 m, se colocará concreto lanzado por capas y malla electrosoldada, marcos metálicos si la estabilidad de las paredes y del techo del túnel lo requieren. Se usará explosivos en caso de bloques masivos de caliza y finalmente, se revestirá con concreto reforzado de 30 cm de espesor.

#### **3.2.1.1 Emportalamientos**

##### **Emportalamientos de entrada**

En los costados del portal, los taludes de las secciones del canal de llamada serán de 1.25:1 horizontal a vertical con bermas ubicadas a cada seis m de altura de dos m de ancho.

Encima del túnel, los cortes serán con una inclinación 0.25:1 horizontal a vertical (sitio donde se apoyarán las estructuras de los obturadores de la obra de toma) hasta la elevación 1 250 m, en donde se generará una berma de seis m de ancho para luego contar ya con taludes con inclinación 1:1 horizontal a vertical. En la elevación 1 255 m se generará la segunda berma de ocho m de ancho, que es donde se apoyará el puente de acceso para la operación de los obturadores. Se cortará finalmente al terreno natural a través de un talud también con inclinación 1:1 horizontal a vertical.

Sobre el túnel pero a sus costados, se generarán taludes con inclinación 1:1 horizontal a vertical, y siempre sujeto sobre los muros de emportalamiento aledaños también a la obra de toma, los cuales se prolongarán un m sobre el estrado del túnel para después tomar la misma geometría de los taludes ya descritos en el punto anterior.

## **Emportalamientos de salida**

La zona de transición en la salida del túnel tendrá un talud vertical sobre los muros del emportalamiento. A los costados del inicio del canal, se contará con taludes con inclinación 0.5:1 horizontal a vertical, que se interrumpirán por bermas de tres m de ancho a cada seis m de altura. Estos taludes partirán de los muros del canal que al inicio tendrán la misma altura de los muros del emportalamiento ya comentados. En este caso, se cuenta con la particularidad de que el ancho de la sección del túnel llega con 3.2 m y el canal de salida contará con un ancho en su base de 4.5 m, (medidas interiores) razón por la cual, se tendrá una zona de transición en la sección de dicho canal para pasar precisamente de 3.2 a 4.5 m en una longitud de cinco m, para ello los taludes se acoplarán a esta geometría.

### **3.2.1.2 Canal de llamada**

Constituye el inicio de la conducción del agua proveniente de la laguna a las obras de desfogue. Aunque este canal ya existe y no se modificará su ubicación, se variará el nivel de arrastre para llevarlo a la elevación 1 240.15 m por lo que se excavará para llegar a ese nivel.

Esta operación se realizará a cielo abierto y en seco, por lo que se construirá una ataguía para restringir el paso del agua hacia las áreas de trabajo. Los taludes de corte serán a una inclinación de 1.25:1 horizontal a vertical y bermas de dos m de ancho a cada seis m de altura, al fondo el canal contará con un ancho de seis m.

### **3.2.1.3 Ataguías**

La ataguía se construirá sobre el canal de llamada con la finalidad de excavar el nuevo túnel en seco, construir la obra de toma y excavar el piso del canal de llamada a la cota de proyecto de la plantilla nueva aproximadamente 3.3 m debajo de la actual (Figura 3.3).

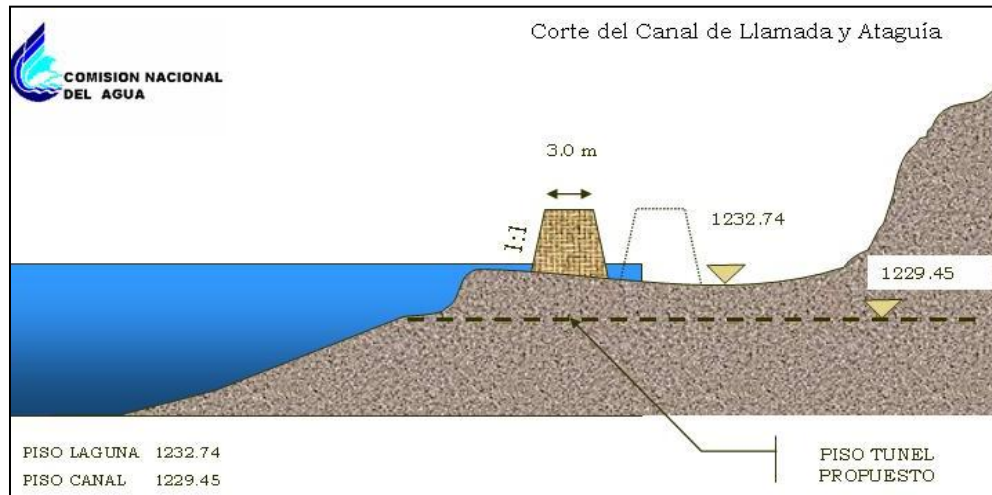


Figura 3.3. Corte del canal de llamada y ataguía

Será de material arcilloso (CL) en el corazón, con dos respaldos, uno de arena limosa y el exterior de boleas. Su altura se localizará 0.5 m arriba de la clave del túnel nuevo. Se desplantará un m por abajo de la plantilla actual y lateralmente se desplantará siguiendo el contorno de la excavación de proyecto de los taludes del canal de llamada. Se construirá una ataguía menor con una costalera, aguas arriba, para poder construir la ataguía principal.

### 3.2.1.4 Canal de salida

Este canal se encuentra a la salida del nuevo túnel y constituye una obra nueva que dará cauce al agua hacia la laguna de salida. Al final del nuevo túnel se inicia el canal, y generará la transición para ajustar el ancho en la base, ya que la sección del túnel es de 3.12 m, mientras que el ancho en la sección del canal será de 4.5 m. Éste se constituirá por una sección de concreto inclinada, con sus muros a  $76^\circ$  con respecto a la horizontal.

Por encima de los muros que conforman el canal, se generan los taludes de corte, los cuales contarán con una inclinación de 0.5:1 horizontal a vertical, hasta una altura de seis m, presentando enseguida una berma de tres m de ancho, para después cortar con el terreno existente por medio de otro talud con inclinación 0.5:1. Particularmente, esta geometría se presentará en las primeras secciones, donde se cuenta con la mayor altura de estos cortes.

### 3.2.2 Camino de acceso

Para la construcción del nuevo túnel y de las obras conexas no se dependerá del traslado de equipo y materiales a través de la laguna, por lo que se prevé la construcción de un camino de acceso de tipo rural, cuya longitud será de 5.7 Km, un ancho de corona de cuatro m y pendiente máxima de 10% (Figura 3.4).

Se realizarán cortes en el material térreo para conformar el camino y se revestirá con una mezcla de grava-arena en un espesor de 10 cm. Se colocará una tubería de concreto de 60 cm de diámetro y se conformará el terraplén. Adicionalmente se construirá muros de mampostería con mortero 1:3, alcantarillado principal y de alivio.



Figura 3.4. Camino de acceso

### 3.2.3 Obras de protección

En el tramo en estudio, los ríos Almolón y Amajac (principalmente el primero) presentan características susceptibles de afectarse al incrementarse el gasto del río. Esto aumenta con la velocidad que lleva el escurrimiento, que aunado al tipo de material del lecho del cauce, puede producir erosiones en las márgenes y provocar la pérdida de terrenos cultivables. Para evitarlo, se realizarán obras de protección en ambos ríos que incluyen la formación de bordos que mitiguen los efectos de desbordamiento de los cauces y la

construcción de espigones a fin de estabilizar las márgenes.

*Obras de encauzamiento para ríos los Almolón y Amajac:* Para el primero, rectificación de cauce con un ancho de plantilla de 20 m a lo largo de sus 12 Km y para el Amajac, la rectificación será de 30 m a lo largo de 23 Km. Es decir, dos Km antes de su confluencia con el río Almolón y 21 Km después. En ambos casos, el talud será de 2:1 y los trazos se apejarán a los cauces actuales para que la excavación sea mínima y con grados de curvatura que se adapten a las condiciones del cauce y evitar en lo posible las afectaciones a los terrenos de cultivo aledaños.

*Formación de bordos:* De 4.5 m de corona en ambas márgenes, la ubicación de los bordos obedece a que se tenga un área hidráulica tal que no permita alturas de bordos grandes de acuerdo al gasto de diseño seleccionado; 759 m<sup>3</sup>/s para el río Amajac de aguas abajo hasta su confluencia con el Almolón y de este punto hacia arriba con 739 m<sup>3</sup>/s y de 101 m<sup>3</sup>/s para el río Almolón; con taludes 2:1.

El talud interior de los bordos debe protegerse con una capa de material impermeable de un metro de espesor y recubierta a su vez, con una chapa de enrocamiento de 0.3 m de espesor, para mitigar y reducir el proceso de erosión debido a la velocidad del agua, cuando los niveles lleguen a éstos. Las condiciones para el diseño de las obras son:

Río Amajac:  $Q = 759 \text{ m}^3/\text{s}$

Río Almolón:  $Q = 101 \text{ m}^3/\text{s}$

Tiempo de retorno = 25 años

### **3. 3 Bancos de material**

Se dispondrá de seis bancos de material para la formación de bordos y revestimiento de caminos en los ríos Almolón y Amajac, su ubicación geográfica se ubica en el Cuadro 3.2 y sus características en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.2. Coordenadas geográficas de los bancos de material

<b>Banco</b>	<b>Latitud Norte</b>	<b>Longitud Oeste</b>	<b>msnm</b>
Santa María	20° 50 ' 57.28 "	98° 52 ' 32.91 "	1825
Benito Juárez	20° 46 ' 59 "	98° 49 ' 43 "	1608
Almolón	20° 43 ' 30.5 "	98° 54 ' 47 "	977
San Juan Amajac	20° 43 ' 10.15 "	98° 57 ' 0.14 "	905
Maromas	20° 46 ' 28.3 "	98° 57 ' 35.34 "	1145
Iztamichapa	20° 48 ' 13.4 "	98° 57 ' 20 "	866

Cuadro 3.3. Características de los bancos de material

<b>Banco</b>	<b>Río Almolón</b>			<b>Río Amajac</b>		
	<b>B. Juárez</b>	<b>Almolón</b>	<b>Sn Juan</b>	<b>Sta. Ma.</b>	<b>Maromas</b>	<b>Iztamichapa</b>
Área (ha)	8.1	4.04	5.3	13.06	4.06	2.8
Volumen (m³):						
-De despalme	16178.2	-	-	26115.2	-	-
-Aprovechable	22694.8	8016	11500	300324.8	81 40.0	55964
<b>Total</b>						<b>398499.6</b>

### 3.4 Programa de obra

La construcción del túnel se realizará en un periodo de 11 meses, de conformidad con el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Programa de construcción del túnel (meses), CNA, 2003.

<b>Obra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
Camino de Acceso											
Ataguías											
Canal de llamada											
Obra control externa											
Emportalamientos											
Túnel											
Canal de salida											
Tajo Almolón											



## IV. MATERIALES Y MÉTODO

### 4.1 Descripción del sistema ambiental

#### 4.1.1 Localización de la zona de estudio

La laguna Metztlán se ubica entre los municipios Metztlán y Eloxochitlán en el Estado de Hidalgo, en las coordenadas geográficas 20° 31' y 20° 43' Latitud Norte y 98° 37' y 98° 52' de Longitud Oeste a 1 264 msnm. Limita al Norte con Molango y Santiago de Anaya; al Sur con Actopan y Atotonilco el Grande; al Este con Zacualtipán y Metzquititlán; y al Oeste con El Cardonal (Figura 4.1).

La laguna Metztlán es un humedal de gran importancia en la RBBM y es la zona de desemboque del río Metztlán, donde se establecen aves migratorias durante el periodo invernal. Tiene una extensión de alrededor de 581.3 ha (CNA, 1998<sub>a</sub>), que puede variar con la época del año e inunda áreas cercanas en época de lluvia debido a su poca profundidad (9-10 m). Tiene la función de retener nutrimentos y sedimentos, generar la recarga del acuífero subterráneo y estabilizar las condiciones climáticas locales, entre ellas la temperatura e incluso, es fuente de riqueza biológica y genética.

La laguna está catalogada como sitio Ramsar por su importancia para las aves migratorias (Ibañez, *et al.*, 2008) y constituye uno de los 65 humedales que México incorporó a la Convención Ramsar con fecha del dos de febrero de 2004 (Ramsar Sites Information Service, 2007).

La Convención Relativa a Humedales de Importancia Internacional como Hábitat de Aves Acuáticas, conocida como Convenio de Ramsar se firmó en la ciudad de Ramsar (Irán) el 2 de febrero de 1971 y entró en vigor en 1975. Su principal objetivo es *«la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo»*.

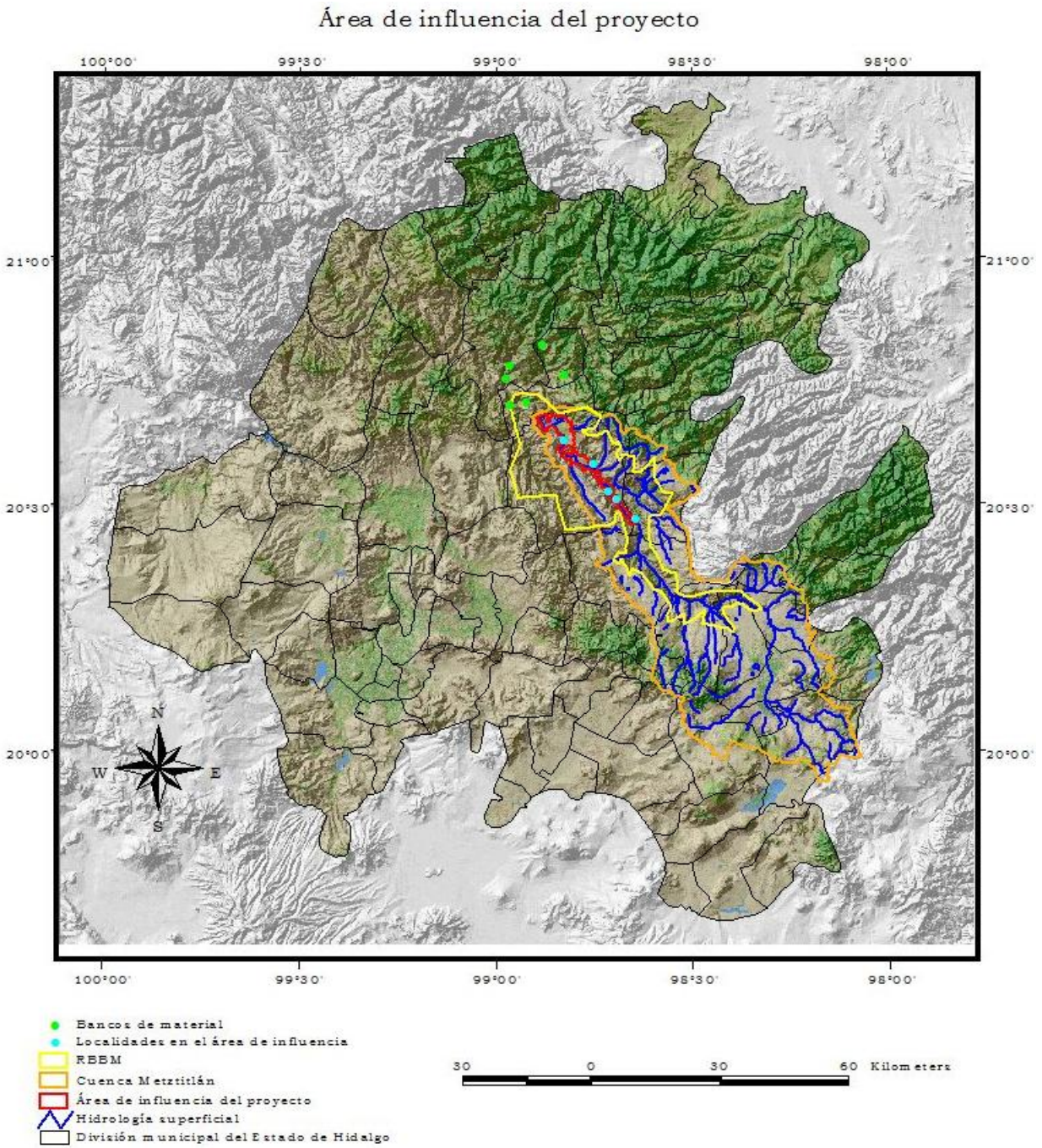


Figura 4.1. Localización del área de influencia

La laguna se ubica en la parte Norte de la Barranca de Metztitlán; por su riqueza en biodiversidad terrestre y buen grado de conservación, aunado a un alto nivel de endemismo y ecosistemas acuáticos, se declaró como Área Natural Protegida el 27 de noviembre del 2000 con la categoría de Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán. Se divide en zonas de núcleo y de amortiguamiento, las primeras son de conservación y las segundas albergan asentamientos y actividades humanas. En la Ruta Almolón que es una de las tres *zonas de uso público* (que en conjunto representan el 0.004 % del total de la Reserva), se quiere construir el túnel de desfogue, cuya área de influencia será del 6.68 % con respecto al área de la RBBM que es de 96 043 ha.

#### 4.1.2 Aspectos abióticos

##### 4.1.2.1 Clima

El clima predominante es BS0hw (seco semicálido) con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal de cinco a diez e invierno fresco (SPP, 1992<sub>a</sub>), se relaciona con la altitud, latitud y gradiente adiabático. La precipitación media anual es menor a 500 mm y en áreas de mayor altitud, de 600-700 mm. Las isotermas máximas son de 22°C y cero a cinco días de helada al año (SPP, 1992<sub>b</sub>). En el Cuadro 4.1, se muestra la condición climática de la laguna y las estaciones Metztitlán y San Cristóbal.

Cuadro 4.1. Clima de la laguna y poblado Metztitlán y San Cristóbal.

Área	Latitud N	Longitud OE	Elevación (msnm)	Clima	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Laguna Metztitlán	20°31' 43'	98°37'52'	1 264	BS0hw	< 500	18-22
Metztitlán	20°36'	98°46'	1 253	BS0hw"(w)(i)'g	427.4	19.8
San Cristóbal	20°38'	98°49'	1 350	BS1hw"(w)(e)'g	564.5	20.8

Fuente: García (1981), SPP (1992<sub>b</sub>).

En el Cuadro 4.2 se concentran los promedios mensuales de temperatura y precipitación para once y seis años; la mayor precipitación ocurre de junio a septiembre (octubre en San Cristóbal), con el mayor valor para septiembre.

Cuadro 4.2. Promedios mensuales de temperatura (°C) y precipitación (mm)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Metztitlán</b>												
T	16.2	17.7	20	21.8	22.4	22.3	21.3	21.8	20.8	19.5	17.6	16
P	8.2	1.5	2.1	19.8	39.5	79.6	70.6	26.2	118.4	39.3	19.1	3.1
Temperatura media: 19.8°C.						Precipitación media anual: 427.4 mm						
<b>San Cristóbal</b>												
T	16.3	18.8	20.8	23.7	24	23.6	22.5	23	21.9	20.5	18.5	16.7
P	12.2	3.6	1.3	22.7	33.8	82.8	85.1	38.6	192.4	73.3	16.2	2.5
Temperatura media: 20.8°C.						Precipitación media anual: 564.5 mm				Fuente: García, 1981.		

#### 4.1.2.2 Fenómenos meteorológicos

La laguna Metztitlán oscila su nivel estacional y anualmente, para mejor ejemplo, en 1998 redujo su volumen a causa de una extrema sequía para luego, llegar a su máximo en la inundación de 1999. Los ciclos 1997-1998 y 1998-1999 correspondieron a los fenómenos climatológicos de El Niño y La Niña respectivamente, lo que permite sugerir que además de otras influencias climatológicas cíclicas o no, como los ciclones que aumentan el volumen de la laguna, los eventos de El Niño se podrían relacionar con sequías en la región y los de La Niña con inundaciones (CONANP, 2003).

#### 4.1.2.3 Fisiografía

La Sierra Madre Oriental se caracteriza por cordilleras orientadas Noroeste-Sureste, de rocas paleozoicas y mesozoicas. Éstas, se intrusionan por rocas ígneas de composición granodiorítica del terciario.

La provincia del Eje Neovolcánico es una franja volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°, y presenta varios aparatos volcánicos que se asocian a fracturas regionales.

La subprovincia cuenca Tampico-Misantla incluye la parte Noreste del Estado de Hidalgo y se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, según López, 1978 (en CONANP, 2003) en un enclave tectónico denominado Antefosa de Chicontepec (Álvarez, 1938 en CONANP, 2003).

#### **4.1.2.4 Geología**

Durante el Triásico, el Estado de Hidalgo evolucionó en forma continental con el desarrollo de una tectónica distensiva que dio lugar a la formación de fosas y rellenos importantes de sedimentos continentales. Después, se instauró un dominio de tipo geosinclinal originado por la transgresión marina del Jurásico superior sobre el oriente del país, al tiempo de la apertura del Golfo de México. Esta transgresión dió lugar a depósitos calcáreos.

Al inicio del Cretácico superior, ocurrió un cambio en el régimen de sedimentación como consecuencia del levantamiento y deformación del dominio occidental donde aún actuaba la subducción de la placa Paleo Pacífica debajo de la porción continental de México.

En el Terciario Marino del Cenozoico, la asociación de rocas sedimentarias comenzó a cubrir la secuencia calcárea del oriente y se distribuyó en la porción Noreste del Estado de Hidalgo. Abarcó una superficie aproximada de 2 800 m<sup>2</sup> y alcanzó gran espesor. Se representa por la formación de Chicontepec, que comprende sedimentos de aguas profundas de la Cuenca Tampico-Misantla. Se observan alternancias rítmicas de areniscas, limolitas y lutitas, de la edad Paleoceno-Eoceno temprano (Benavides, (1969). Esta formación anunció la actividad orogénica que afectaría toda la región. De esta manera los dominios occidental y oriental de México, que actuaron de independientes y con características propias, se interrelacionan con las deformaciones de finales del Mesozoico.

La zona de Metztitlán delimita geográficamente al Sur con el Eje Volcánico Transversal, al Norte con montañas que originan los fluviales de los ríos Moctezuma-Pánuco y del Lerma Santiago, al Este por la Sierra Madre Oriental y al Oeste por la Sierra Madre Occidental en forma de un pequeño valle, que enmarca el nacimiento de la Huasteca Hidalguense (Zarzal, 2005-2007). Presenta una falla en el sur forma un escarpe con una altura de 275–305 cm donde atraviesa el depósito de la avalancha de roca, lo que sugiere que un

temblor se originó sobre esta falla en los últimos 1 100 años, que se rompió hasta la superficie (Suter, 2004).

#### **4.1.2.5 Edafología**

De acuerdo con la clasificación FAO/UNESCO 1970, modificada por la Dirección General de Geografía del INEGI, en el área de influencia del proyecto se distinguen las unidades Luvisol vértico y Fluvisol calcárico (Gobierno del estado de Hidalgo, 2001; SPP, 1992<sub>a</sub>; y 1992<sub>c</sub>).

##### **Luvisol vértico (Lv)**

Deriva la palabra latina *luo* que significa lavar; connotativa de la acumulación aluvial de arcilla. Presenta un horizonte B donde hay acumulación de arcilla, cuya saturación de bases es de 50 % o más cuando menos en la parte inferior del horizonte, en los primeros 125 cm de profundidad. Presenta agrietamiento notable cuando se seca, es de fertilidad moderada y susceptible de salinizarse por riego con agua de mala calidad, por lo que es difícil su recuperación. Se encuentra las partes más altas del Noreste de Metztitlán (Gobierno del estado de Hidalgo, 2001).

##### **Fluvisol calcárico (Jc)**

Deriva de la palabra latina *fluvius* que significa río; connotativa de las planicies de inundación y los depósitos aluviales. Son suelos poco desarrollados a partir de depósitos aluviales recientes, de sedimentos fluviales, marinos, lacustres o coluviales. El contenido de materia orgánica disminuye en forma irregular en la profundidad o permanece arriba de 0.35 % a una profundidad de 125 cm.

Son el producto del acarreo de materiales por inundaciones o crecidas. Estos suelos se ubican en las inmediaciones de cuerpos de agua, permanentes o temporales y en cauces. Contienen cal por lo que se les denomina suelos calcáreos, además de nutrimentos entre los 20 y 50 cm de profundidad. Son muy fértiles y de fácil manejo de acuerdo a la cantidad de agua disponible y

de la capacidad del suelo para retenerla, los rendimientos que se obtienen pueden ser de moderados a altos.

Se encuentra en las cercanías del río Metztlán, le conceden alta fertilidad a la vega hasta la unión con el río Amajac en Eloxochitlán y en la ribera del río Amajac desde la localidad de Huisticola, municipio de Metztlán hasta la Palma, Jacala (Gobierno del estado de Hidalgo, 2001).

#### **4.1.2.6 Hidrología superficial y subterránea**

**Hidrología superficial.** La laguna Metztlán pertenece a la Región Hidrológica 26 Alto Pánuco, su aporte principal es el río de la cuenca Metztlán que tiene un área de 289 400 ha y un coeficiente de escurrimiento superficial de 0-5%.

El río Metztlán tiene su origen en la parte Norte del Estado de Puebla (a seis km), mientras que en el Estado de Hidalgo, se forma por escurrimientos del cerro Tlachaloya, a una elevación de 3 000 msnm donde recibe el nombre de río Chico. Se desarrolla hacia el Norte volviendo su cauce intermitente en ocasiones. Llega a la presa La Esperanza, a 2200 msnm. Continúa aguas abajo y pasa por la parte Sur de la barranca y de la ciudad de Tulancingo, con el nombre de río Grande Tulancingo. A siete km al Norte de este punto recibe los aportes de la Barranca Alcholoya, en donde el río adquiere el mismo nombre. A cinco km aguas abajo de la confluencia con el río San Lorenzo recibe por la margen izquierda los aportes de la laguna de Zupitlán. A cuatro km aguas abajo de este sitio se derivan dos canales paralelos al río, los cuales proveen del recurso al DR-08 (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

Se extiende aguas abajo y recibe aportes de varios arroyos hasta el poblado El Vite, en cuya margen derecha capta al arroyo Las Granadas a una elevación de 1 550 msnm. A partir aquí, se denomina río Metztlán y presenta una longitud total de 134.5 Km. Admite diversos aportes hasta el sitio donde se localiza la estación hidrométrica Los Venados a una elevación de 1 400 msnm con un área de cuenca de 1 951 km<sup>2</sup>.

El agua del río Venados es turbia, con abundantes sedimentos. Debido a la alta productividad agrícola en la vega, el uso de agroquímicos (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, acaricidas y fungicidas) es intenso. Parte de estos productos llega al río, donde se presentan procesos de sedimentación y eutrofización, además de efectos tóxicos que alteran el ecosistema acuático que representa riesgos a la flora y fauna, pero sobre todo para las poblaciones que habitan en las márgenes del río (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

El río Metztitlán cruza con la carretera federal No. 130 y final de su trayecto descarga en la laguna Metztitlán (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Características de la laguna Metztitlán

<b>Superficie inundable (ha)</b>	<b>Volumen disponible (*Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Usos principales</b>
581.3	11.4	- Control de avenidas - Piscicultura

\*M: millones      Fuente: Programa Estatal Hidráulico 1996-2020, CNA 1998b.

En tiempos geológicos pasados, el río corría sin formar la laguna pero durante el Holoceno el cerro El Tajo sufrió un derrumbe masivo que conformó el embalse, una represa natural que formó la laguna. Tal oclusión natural se conoce como el paraje Los Sótanos (CONANP, 2003).

Por la irregular topografía y el carácter calizo de la mayoría de las rocas en la zona, la erosión hídrica es constante. Aunque prevalece el clima semiseco, las serranías y tierras más altas aledañas a la Reserva, a ambos lados del cauce del río Venados son más húmedas. Parte de la precipitación escurre y forma numerosos cauces que desembocan en el río y que lleva a la laguna Metztitlán.

Las extracciones de la laguna se realizan por dos túneles, que forman el río Almolón. Tiene un recorrido aproximado de 11 km hasta el sitio donde confluye con el río Amajac a una elevación aproximada de 950 msnm cerca de la población de San Juan Amajac. A partir de la confluencia anterior el río se llama Amajac y describe una amplia curva con un recorrido aproximado de



110 km. Antes de descargar finalmente al río Moctezuma, cerca de la población Tamazunchale.

**Hidrología subterránea.** El acuífero Metztlán es de tipo libre, ocupa la porción plana del valle entre el río y la laguna Metztlán. En su explotación se contemplan 26 aprovechamientos: agrícola (54 %) y público-urbano y otros (46 %), ya que el DR-08 se riega con agua superficial (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Balance hídrico del agua subterránea

Tipo	Recarga (Mm <sup>3</sup> /año)	Extracción (Mm <sup>3</sup> /año)	Disponibilidad (Mm <sup>3</sup> /año)	Condición geohidrológica	Usos principales
Libre	8.0	7.3	0.7	Sub explotado	- Agrícola - Público

Fuente: Programa Estatal Hidráulico 1996-2020, CNA 1998<sub>a</sub>.

### 4.1.3 Aspectos bióticos

En la fase de operación del túnel se desfogarán grandes volúmenes de agua, para que el DR-08 quede libre de inundaciones y se aprovechen los terrenos agrícolas cercanos a la laguna sin embargo, un exceso en el desagüe afectará vegetación y fauna de una parte la RBBM, la que rodea a la laguna y lecho del río. Si bien el área de influencia del proyecto representa el 6.68 % de la Reserva, se describe su vegetación y fauna, pese a que no toda la biodiversidad descrita se encuentra en el área de inundación y por tanto, solamente se afectará a la biodiversidad cercana al embalse en el área inundable.

#### 4.1.3.1 Tipos de vegetación

La clasificación a continuación toma los criterios florísticos, fisonómicos y ambientales de Rzedowski, 1965, 1978; Zamudio, *et al.*, 1992.

#### Matorral xerófilo

Este tipo de vegetación abarca el 21.81 % del área de la RBBM (20 959.63 ha), del que 0.48 % (465.93 ha) se definen como matorral xerófilo-agricultura de

temporal. Forma parte del área de influencia del proyecto, las especies que lo conforman se enlistan en el Anexo A.

Está en zonas áridas y semiáridas de la RBBM, se caracteriza por arbustos que alcanzan hasta cuatro m, los tallos se ramifican desde la base y presentan adaptaciones a ambientes con poco agua (espinas, hojas pequeñas y carencia de follaje en época de secas pero con tallo verde como *Fouquieria splendens*).

El matorral *crasicaule* agrupa comunidades arbustivas de clima árido y semiárido de tallo suculento, como las cactáceas y xerófitas, cuya densidad varía del 10 al 50 %.

#### *Matorral crasicaule de Cephalocereus senilis*

Se localiza en los cerros de la Barranca y paralela al Puente del río Venados, entre 1 000 y 1 500 msnm, en suelo Regosol y domina la especie *Cephalocereus senilis*, que mide de tres a cinco m y es poco ramificado. El estrato arbustivo superior alcanza 1.5 a tres m y se conforma por las especies *Fouquieria splendens*, *Karwinskia humboldtiana*, *Pithecellobium brevifolium*, *Agave xylonacantha*, *Gochnatia hypoleuca*, *Lippia graveolens*, *Turnera diffusa* y *Ayenia rotundifolia*. El estrato herbáceo menor a un metro incluye a *Calliandra eriophylla*, *Mimosa biuncifera*, *Agave striata*, *Echinocactus biznaga*, *Sellaginella lepidophylla* y *Jatropha spathulata*.

También se observa en la población El Súchil, al margen del río Tulancingo (municipio de Huasca) a 1 620 msnm, con una exposición al suroeste. La composición es *Acourtia lepidopoda*, *Gochnatia hypoleuca*, *Agave* sp., *Dalea bicolor*, *Fouquieria splendens*, *Erioneuron avenaceum*, *Eupatorium espinosarum*, *Tillandsia usneoides*, *Muhlenbergia* aff. *emersleyi*, *Cheilanthes* aff. *farinosa*, *Heliopsis parvifolia*, *Colubrina humboldtiana*, *Zexmenia lantanifolia*, *Dasyllirion lucidum*, *Hechtia* sp., *Jacobinia* aff. *mexicana*, *Turnera diffusa* y *Montanoa tomentosa xanthiifolia*.

*Matorral crasicaule de Stenocereus dumortieri*

Se encuentra en las laderas de exposición Norte y Noreste en la Barranca en el poblado La Casita, municipio Metztlán (1 600 msnm). La especie dominante es *Stenocereus dumortieri* que mide hasta seis m.

El estrato arbóreo se caracteriza por *Stenocereus dumortieri*, *Yucca filifera*, *Prosopis laevigata*, *Plumeria rubra*, *Karwinskia humboldtiana*, *Senna pringlei*, *Bursera schaffneri* y *Acacia subangulata*, el arbustivo por *Opuntia leucotricha*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Trixis inula*, *Jatropha spathulata*, *Nicotiana glauca*, *Prosopis juliflora*, *Acacia farnesiana*, *Cercidium floridum*, *Carlowrightia* aff. *lindeneana*, *Zaluzania augusta*, *Trixis inula*, *Montanoa tormentosa xanthiifolia* y *Sebastiana pavoniana*, el herbáceo por los géneros *Croton*, *Oxybaphus*, *Euphorbia*, *Hibiscus*, *Loeselia*, *Ruellia* y las especies *Sedum ebracteatum*, *Aneilema karwinskiana*, *Trichachne insularis* y *Portulaca oleracea*. En los grupos de trepadoras, epífitas y parásitas se encuentra *Plumbago pulchella*, *Tillandsia usneoides*, *T. fasciculata* y *Phoradendron brachystachyum*.

*Matorral crasicaule de Opuntia imbricata*

Se localiza en laderas escarpadas y de difícil acceso, con exposiciones Noreste hacia la Barranca y sustrato geológico ígneo a 1 700 - 1 820 msnm. El área en la población de Santa Cruz, Mun. Huasca de Ocampo, cercano al río Venados.

El estrato arbóreo se compone por *Opuntia imbricata*, *Yucca filifera*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Eysenhardtia polystachya*, *Senna polyantha*, *Karwinskia humboldtiana*, *Quercus laeta*, *Montanoa tomentosa* ssp. *xanthiifolia* y el arbustivo por *Brickellia veronicifolia*, *Dalea* aff. *lutea*, *Croton ciliatoglanduliferus*, *Coreopsis mutica*, *Brickellia secundiflora*, *Dalea aenigma*, *Stevia tomentosa*, *Zaluzania augusta*, *Eupatorium scorodonioides*, *Condalia mexicana* y *Randia capitata* y el herbáceo por las familias Leguminosae, Compositae, Labiatae y Gramineae.

Esta comunidad vegetal se afecta en laderas poco escarpadas por cambios en el uso de suelo (cultivo agrícola, frutal, pastoreo y asentamiento urbano), mientras que se conservan las áreas de difícil acceso.

### **Bosque tropical caducifolio**

Este tipo de vegetación abarca el 1.27 % del área de la RBBM (1 218.60 ha); se encuentra al sur de la laguna Metztitlán y otras fracciones en el recorrido del río antes de Puente Venados; se ubica en el área de influencia del proyecto. Las especies que lo conforman se enlistan en el Anexo A.

También se ubica al Oeste de los cerros de la parte Este del río Venados, en parajes cercanos a la carretera que conduce a la cabecera municipal de Metztitlán y, en la base de los cerros El León y Partido, entre 1 100 y 1 500 msnm, sobre sustratos geológicos de roca sedimentaria, suelos someros y rocas aflorantes.

El estrato arbóreo se caracteriza por ejemplares de baja altura (8-12 m), copa ancha y ramificada, cuya corteza de tallos es exfoliante y de colores vivos. Se integra por *Bursera morelensis*, *Opuntia* spp., *Cephalocereus senilis* (viejito), *Stenocereus dumortieri* (órgano cimarrón) y *Acacia* sp. (huaxillo).

El estrato arbustivo (alcanza 2.2 m), es el que se encuentra en el área de influencia del proyecto: se compone por *Agave xylonacantha*, *Turnera diffusa*, *Harpalyce arborescens*, *Randia hidalgensis*, *Ipomoea* sp., *Stachytarpheta velutina*, *Tetramerium hispidum*, *Cnidoscolus rostratus glabratus* (mala mujer), *Colubrina elliptica*, *Dalea bicolor* var. *canescens*, *Ruellia californica* y *Eupatorium espinosarum*. El estrato herbáceo se conforma por especies típicas de época de lluvia, *Zinnia peruviana*, *Tagetes tenuifolia* y *Setaria grisebachii*. Los grupos de epífitas y trepadoras son abundantes, destaca en el primero *Tillandsia usneoides* que cubre los árboles e *Ipomoea purpurea* en el segundo. *Selaginella lepidophylla* (doradilla) cubre terrenos escarpados; evita la erosión.

Este tipo de vegetación no existe evidencia de perturbación por extracción de leña o pastoreo, debido a la topografía accidentada.

### **Vegetación ribereña**

Este tipo de vegetación abarca el 1.23 % del área de la RBBM (1 186.58 ha); se encuentra dentro del área de influencia del proyecto, las especies que lo conforman se enlistan en el Anexo A.

Cerca de la laguna Metztlán, se observa una vegetación característica sobre suelo profundo, con anegación temporal y presencia de un manto freático elevado, que permite el buen desarrollo de las plantas. Es abundante la presencia de árboles maduros de *Salix humboldtiana* en la orilla de la laguna, pues soporta la inundación en su sistema radicular y la parte inferior del tallo. En la actualidad, se observa en terrenos alejados a la orilla, un renuevo vigoroso con una alta densidad y gran extensión, el cual se originó por la inundación de 1999.

La flora se limita a especies que toleran la inundación temporal y responden a un carácter de sucesión al evento de 1999 como *Cyperus hermaphroditus var. longiradiatus*, *Alternanthera repens*, *Helenium elegans*, *Eclipta alba*, *Ambrosia cumanensis*, *Polygonum lapatifolium*, *Phyla nodiflora*, *Vigna aff. luteola*, *Echinochloa colona*, *Datura stramonium*, *Polygonum acre*, *Ludwigia octovalvis*, *Spilanthes oppositifolia* y *Cyperus rotundus*. En las márgenes del río Metztlán se observa *Carya illinoense* (nogal) y *Salix humboldtiana*.

### **Matorral submontano**

Este tipo de vegetación abarca el 48.6 % del área de la RBBM (46 655.9 ha); no se encuentra dentro del área de influencia del proyecto.

Se distribuye a 1 600 –1 800 msnm cerca de Metznoxtla, con exposición Este-Suroeste. En suelos de suave pendiente, pedregosos, sedimentarios de calizas y con afloramiento del material parental.

Predomina el estrato arbustivo cuya cobertura es de 80-90 % y de altura dos m, salvo el género *Yucca*. Destaca *Mimosa* sp., *Senna wislizeni*, *Ipomoea* sp., *Krameria cytisoides*, *Neopringlea integrifolia* y *Cnidoscolus rostratus glabratus*. Por otra parte, el estrato herbáceo es escaso y aparece sólo en época de lluvia con *Loeselia* sp., *Dyssodia tagetiflora*, *Tournefortia maculata*, *Brickellia veronicifolia*, *Flourensia glutinosa* y *Lantana camara*.

Una variante de este tipo de vegetación es el bosque de *Helietta parvifolia*, única especie arbórea de seis m de altura y 13 cm de diámetro. Crece sobre suelos Leptosol, con pendientes moderadas a fuertes. Se encuentra entre Metznoxtla y San Pablo Tetlapayac, y se extiende a lo largo del Cordón Cerro Alto, a 1 550-1 850 msnm.

El estrato arbustivo se representa por *Verbesina oncophora*, *Acacia palmeri*, *Stachytarpheta velutina*, *Eysenhardtia polystachya*, *Bouvardia ternifolia*, *Polyaster boronioides*, *Krameria cytisoides*, *Neopringlea integrifolia*, *Croton flavescens*, *L. achyranthifolia*, *Karwinskia mollis*, *Fouquieria fasciculata*, *Mentzelia hispida*, *Zexmenia lantanifolia*, *Mimosa leucaenoides*, *Ayenia mollis*, *Salvia melissodora*, *Dahlia merckii*, *Calliandra eriophylla*, *Acalypha adenophora* y *Montanoa tomentosa*. El género *Yucca* es disperso y logra ocho m de altura.

El estrato herbáceo se compone por *Eragrostis mexicana* ssp. *mexicana*, *Melampodium* aff. *gracile*, *Setaria grisebachii*, *Trisanthemum holosericea*, *Porophyllum tagetioides*, *Aristida adscensionis*, *Zinnia peruviana*, *Echeandria mexicana*, *Senna* aff. *frida*, *Cheilanthes myriophylla*, y *Tagetes tenuifolia*. La epífitas abundantes son *Tillandsia usneoides* y *Tillandsia* sp. De las especies trepadoras, *Cardiospermum grandiflorum* sobre arbustos del género *Acacia*.

Un tipo de matorral submontano se observa en el ascenso del camino de terracería del poblado de Metztitlán a Ixtayatla, a 1 400 -1 750 msnm, cuya cobertura vegetal mide 1.5 m.

Los elementos florísticos son plantas dispersas de *Stenocereus dumortieri*, *Opuntia* sp., *Acacia farnesiana*, *Prosopis laevigata* y *Yucca filifera*. En el estrato arbustivo, las especies *Karwinskia humboldtiana*, *Parhenium incanum*, *Mimosa lacerata*, *Eupatorium glabratum*, *Condalia mexicana*, *Verbesina* aff. *oncophora*, *Zanthoxylum fagara*, *Salvia keerli*, *Stachytarpheta acuminata*, *Neopringlea integrifolia* y *Perymenium mendezii* var. *verbesinoides*. La conservación de estas asociaciones vegetales es buena, pese a la práctica de pastoreo.

### **Bosque de coníferas**

Este tipo de vegetación abarca el 7.44 % del área de la RBBM (7 147.9 ha); no se encuentra en el área de influencia del proyecto.

Es un conjunto de comunidades vegetales perennifolias, típicas de climas frescos y semihúmedos, que también se extiende a semiáridos. En la RBBM se ubica en la parte Noroeste, cerca a los poblados Zoquizoquipan y Mesa Grande (1 800-2 500 msnm), en sustratos geológicos de origen volcánico.

#### Bosque de juníferos

Se observa en la parte alta de la Barranca de Ixcatlán, al Oeste de Mesa Grande (1 650-1 920 msnm), con pendientes pronunciadas, sustrato geológico de rocas basálticas y terreno pedregoso.

El estrato arbóreo varía en su cobertura, alcanza 8-12 m, mientras que los ejemplares de más edad logran 60 cm de diámetro. Domina *Juniperus flaccida* (sabino), que imprime el carácter de un bosque *escuamifolio*. Se atenúa por la presencia de *Quercus polymorpha* y *Q. castanea*. Otros elementos son *Celtis caudata*, *Lonchocarpus* sp., *Zanthoxylum affine*, *Eysenhardtia polystachya*, *Randia capitata*, *Rhus* sp. y *Buddleia cordata*.

En el estrato arbustivo se observa *Dasylyrion* sp., *Opuntia* spp., *Coreopsis mutica*, *Eupatorium collinum*, *Zaluzania augusta*, *Sebastiana* aff. *pavoniana*,

*Montanoa tomentosa*, *Plumbago pulchella*, *Vernonia liatroides*, *Lantana velutina*, *Acacia farnesiana*, *Loeselia mexicana*, *Dodonaea viscosa* y *Tecoma stans*.

La riqueza del estrato herbáceo es amplia, *Acalypha adenophora*, *Datura sp.*, *Leptochloa dubia*, *Tetramerium hispidum*, *Cyperus hermaphroditus*, *Cheilanthes bonariensis*, *Setaria grisebachii*, *Artemisia ludoviciana mexicana*, *Cheilanthes integerrima*, *Zinnia peruviana*, *Euphorbia graminea*, *Mentzelia hispida*, *Lasiacis divaricata*, *Mirabilis jalapa* y *Bahia pringlei*.

El estado de conservación de esta comunidad es bueno pues se encuentra en terrenos inaccesibles por pendientes pronunciadas, superficie rocosa y pedregosa y su lejanía de centros de población.

Esta comunidad también se encuentra en la Barranca de Tlaxocoyucan, mun. Huasca de Ocampo, sobre sustrato de rocas ígneas (1 890-2 020 msnm) y topografía accidentada, que impide la uniformidad en la vegetación.

Su composición florística es diversa. Registra las especies, *Buddleia cordata*, *Juniperus flaccida*, *Dodonaea viscosa*, *Nicotiana glauca*, *Loeselia mexicana*, *Ptelea trifoliata*, *Juglans mollis*, *Eysenhardia polystachya*, *Tagetes tenuifolia*, *Gnaphalium chartaceum*, *Artemisia ludoviciana mexicana*, *Dalea lutea*, *Salvia mexicana* var. *mexicana*, *Salvia regla*, *Dyssodia papposa*, *Phytolacca icosandra*, *Amaranthus hybridus*, *Baccharis salicifolia*, *Bromus anomalus*, *Bouteloua scorpioides*, *Bidens odorata*, *Setaria grisebachii*, *Lupinus montanus*, *Cosmos bipinnatus*, *Chloris virgata*, *Parthenocissus sp.*, *Setaria geniculata*, *Eupatorium pycnocephalum*, *Forestiera reticulata*, *Salvia amarissima*, *Yucca filifera*, *Digitaria sanguinalis*, *Eragrostis mexicana*, *Agave spp.*, *Opuntia spp.*, *Mammillaria sp.* y *Myrtillocactus geometrizans*, éste es escaso.

#### Bosque de pino-encino

Esta asociación vegetal se encuentra en una pequeña porción de la RBBM, cerca de Zoquizoquipan y Los Arcos, municipio Metztitlán (2 160 msnm). Constituye una vegetación de estrato arbóreo dominante (12-18 m alto),



espaciado y sin grandes aberturas en el dosel de las copas: *Pinus teocote*, *P. leiophylla*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *Quercus crassifolia*, *Arbutus glandulosa* y *Buddleia cordata*.

El estrato arbustivo es denso en partes y el herbáceo es muy diverso. En el primero, *Eupatorium ligustrinum*, *Litsea glaucescens*, *Myrica cerifera* y *Seymeria decurva* y en el segundo, *Stevia hirsuta*, *Lepechinia schiedeana*, *Gnaphalium chartaceum*, *Viguiera tomentosa*, *Bidens triplinervia*, *Verbena bipinnatifida*, *Zaluzania augusta*, *Muhlenbergia montana*, *Salvia* aff. *lavanduloides*, *Stevia* aff. *Ovata*, *Alchemilla aphanoides* y *Cuphea aequipetala*.

Las partes bajas donde se distribuye esta asociación vegetal se modificó por actividades antropogénicas como cambio de uso de suelo para desarrollo de agricultura y agostaderos en Mesa Grande, Los Arcos, Tlaxco y Eloxochitlán. Pocas áreas se dedican al aprovechamiento forestal comercial, como las poblaciones colindantes a Zacualtipán de Ángeles y Molango.

#### Bosque de encino

Los encinares son bosques más o menos densos formados por encinos (*Quercus* sp.) característicos por ser de hojas duras, planas y coriáceas, de corteza fisurada. Es frecuente la presencia de epífitas como bromelias, orquídeas y algunas cactáceas.

Se encuentra en los bordes de las partes altas de la Barranca de Metztlán, en la transición entre el matorral y en colindancia o asociación con el bosque de pino-encino. Se distribuye hacia el Noreste de la Barranca y crece sobre luvsoles pedregosos cerca de los poblados Tlaxco y Mesa Grande, municipio de Metztlán y hacia el Noroeste, donde forma masas puras de *Quercus crassifolia*, sobre rendzinas líticas cerca de las comunidades Agua Hedionda y Milpa Grande del mismo municipio. Al Sur de la Reserva hay poblaciones de *Quercus castanea*, que crecen cerca de los bordes de la Barranca en forma

arbustiva. La madera se utiliza con fines domésticos, en la construcción de casas, cercas y como combustible.

### **Pastizal**

Este tipo de vegetación abarca el 1.42 % del área de la RBBM (1 352.43 ha); no se encuentra dentro del área de influencia del proyecto.

Se observa en Mesa Grande, al Norte de Metztitlán a 1 980 msnm, sobre sustrato de roca ígnea y suelos Vertisol. Se debe a un proceso de perturbación, tras la eliminación de encino propio del lugar para dar lugar a las actividades antropogénicas. Se forma por los estratos arbóreo y herbáceo. En el primero se encuentra *Acacia schaffneri* (huizache, consigue una altura de 2.5 m) y en el segundo, *Schkuhria pinnata*, *Mecardonia procumbens*, *Gomphrena decumbens*, *Piqueria pilosa*, *Tridax coronopifolia*, *Euphorbia* aff. *mendezii*, *Dalea foliolosa*, *Hilaria procumbens*, *Melampodium* aff. *sericeum*, *Salvia amarissima*, *Salvia* sp., y *Erodium cicutarium*. Los arbustos ocasionales son *Mandevilla foliosa*, *Croton ciliato-glanduliferus*, *Karwinskia humboldtiana* y *Opuntia* spp.

Los terrenos con este tipo de vegetación se utilizan como agostadero para el pastoreo de ganado. No se siembra por la pedregosidad del terreno.

En el Anexo A, se enlistan 198 especies de flora de los tipos de vegetación que se encuentran en el área de influencia del proyecto y alrededores, su categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2001 (DOF 30/mayo/2000) y endemismo. La localización de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y zonas agrícolas se observa en la Figura 4.2.

Tipos de vegetación en el área del proyecto y alrededores, cuenca Metztitlán

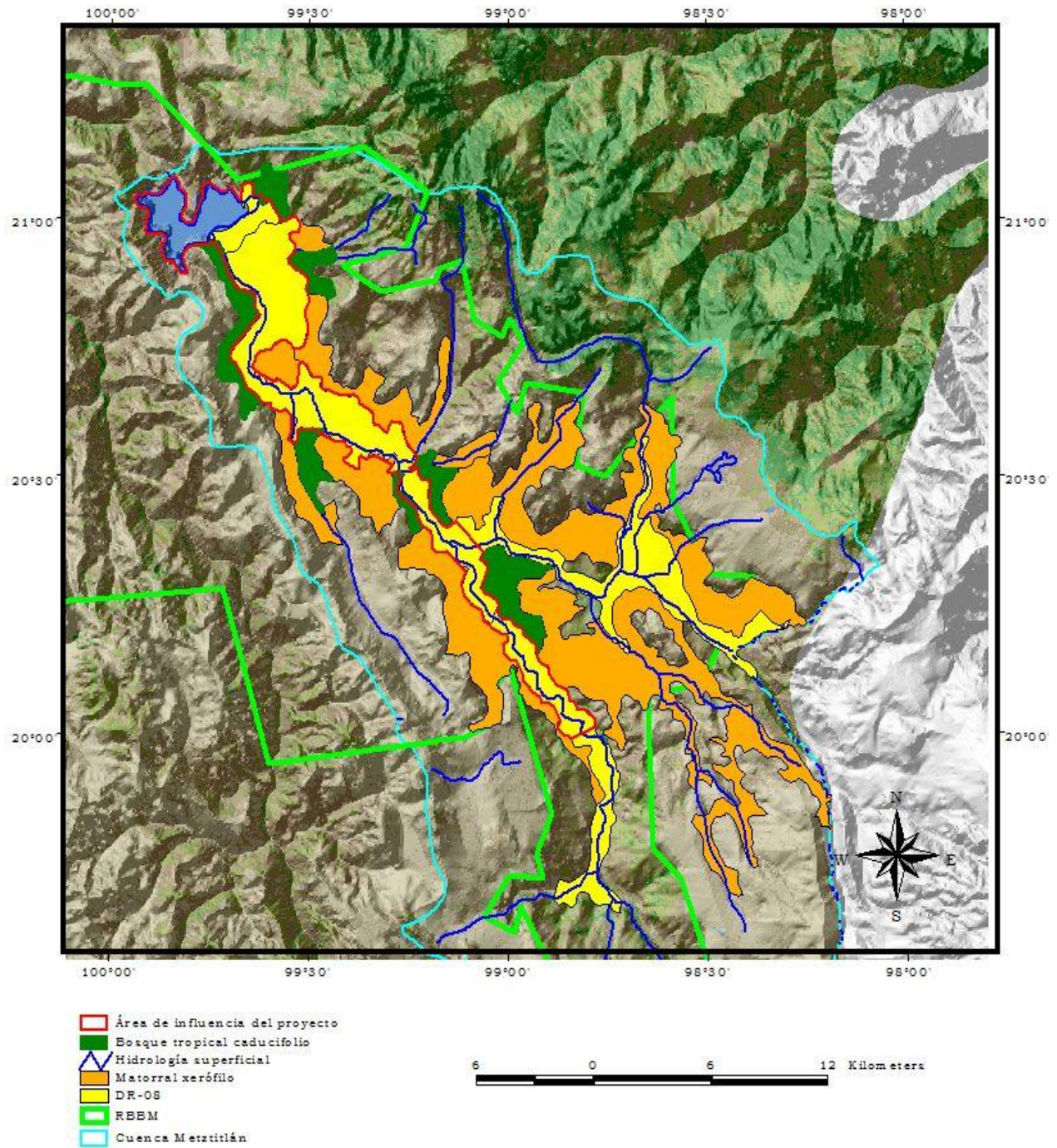


Figura. 4.2. Tipos de vegetación en el área de influencia del proyecto y alrededores

#### **4.1.3.3 Fauna**

La República Mexicana se divide en dos regiones zoogeográficas, neártica y neotropical, que permite en conjunto fauna diversa. La barrera ecológica entre ellas no es absoluta y su efectividad depende de la adaptación y poder de desplazamiento de los animales, la cual varía según tiempo y circunstancias. Esto provoca que las especies típicas de una región se internen en la otra y *vis.*, lo que permite una mezcla compleja en una zona común llamada Zona de Transición Mexicana por Halffter (1964, citado por Álvarez y Lachica, 1991).

La RBBM se ubica en esa zona de transición y aunado a la topografía (sistema de cañadas que conectan a los sistemas hidrológicos), permite características particulares a sus comunidades biológicas. Desde el punto de vista faunístico y de acuerdo a Smith (1941; citado por Álvarez y Lachica, 1991), el área de la Reserva está en la Provincia Biótica Hidalguense (Stuart, 1964; citado por Álvarez y Lachica, op.cit.). Ésta muestra varios gradientes, en la zona de estudio influye el desnivel entre la Sierra Madre Oriental y el Altiplano. Forma una región de poca humedad que se afecta por la sombra orográfica y es un corredor de especies de regiones áridas. En la RBBM la fauna es básicamente neártica, de formas desérticas y afinidades frías húmedas de la Sierra Madre Oriental. Se infiltra la fauna de la Huasteca (neotropical) por el corredor del río Moctezuma. De la fauna de la Reserva, el 1.5 % corresponde a peces, el 1.8 % a anfibios, el 9.2 % a reptiles, el 69.6 % a aves y el 17.8 % a mamíferos.

En el Anexo B, se enlistan las especies de fauna del área de influencia del proyecto, que se asocian a los ecosistemas del matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, vegetación ribereña, zonas agrícolas y la laguna, también se señala su categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2001) y endemismo.

#### **Anfibios**

Este grupo se asocia a cuerpos de agua y zonas de alta humedad por sus hábitos de vida. Se registran dentro del área de influencia del proyecto las

familias Ranidae (*Rana spectabilis*) en la laguna y río Metztitlán, Bufonidae (*Bufo valliceps*) en la laguna, Leptodactylidae (*Hylactophryne a. augustini*) y Pelobatidae (*Spea hammondi multiplacata*) en matorral xerófilo (Anexo B). La especie *Rana spectabilis* es endémica de México.

## **Aves**

El estudio de la avifauna de la RBBM más reciente y completo es de Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM), donde se reportan 218 especies para matorral xerófilo, la zona perturbada de la vega, vegetación ribereña y los manchones de bosque tropical caducifolio cercanos la laguna y río Metztitlán, que en conjunto involucran el área de influencia del proyecto, las especies se concentran en el Anexo B.

Los gremios alimenticios de las aves son herbívoros, carnívoros y omnívoros, por su movilidad resulta difícil precisar su densidad poblacional. Son 14 especies en alguna categoría de riesgo con base en la normatividad mexicana.

De las aves migratorias y hábitos costeros está el martinete (*Ceryle alcyon*), alzacolita o playerito (*Actitis macularia*), pelícanos (*Pelecanus erythrorhynchos*) y patos (familia Anatidae). De las especies acuáticas de resguardo temporal se identifican zopilotes (*Cathartes aura*), gavilanes (*Buteo* sp.) y llamahielos (*Falco sparverius*), en sitios cercanos a cuerpos de agua, garcillas (*Nycticorax*), garzones (*Egretta*) y patos de la familia Anatidae que ahí invernan. En zonas agrícolas, la garza garrapatera (*Bubulcus ibis*) y miembros de las familias Emberizidae (se alimentan de semillas e insectos) y Tyrannidae (de insectos).

Las aves dependen de todos los tipos de vegetación de la región para su supervivencia, pues de ella se alimentan, en ella anidan y descansan (CONANP, 2003), es el caso de los chipitirines (*Pyrocephalus rubinus*), primavera (*Turdus grayi*) y cardenales (*Cardinalis cardinalis*), mientras que las chuparrosas (*Hylocharis leucotis* y *Eugenes fulgens*) participan en la polinización de las plantas de las que se alimentan en la época de floración.

Como en la RBBM habitan cerca del 60 % de las aves de Hidalgo y 27 % de las de México, Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM) menciona que este sitio es importante para la conservación de aves a nivel regional, estatal y nacional, ya que en el Estado de Hidalgo se encuentran 468 especies (Martínez-Morales, *et al.*, 2007; Valencia-Hervert *et al.*, 2008, 2009); el 59.9 % habita en la RBBM. También sugiere que la Reserva se debe considerar como un Área Importante para la Conservación de las Aves en México (Arizmendi y Valdelamar, 1999), ya que en México se han registrado 1 018 especies (Peterson y Chalif, 1989; ver Navarro-Sigüenza y Peterson, 2004, quienes sugieren más de 1 200); más del 26.7 % se localiza en la RBBM.

### **Mamíferos**

En la RBBM se registran 50 especies (Castro y Romo, 1997), que por su amplia distribución se pueden considerar dentro del área de influencia del proyecto (Anexo B). Las especies que se asocian a la vegetación xerófila y sustrato rocoso son el coyote (*Canis latrans*), cacomixtle, (*Bassariscus astutus*) y ardilla gris (*Spermophilus variegatus*). La última especie, la tuza (*Pappogeomys* sp.) y el ratón de campo (*Peromyscus* sp.) se pueden convertir en plagas en las zonas colindantes al DR-08.

Se reportan cuatro familias de la región neártica (Vespertilionidae, Leporidae, Sciuridae y Heteromyidae) que avanzan en la región neotropical, mientras que las familias Cricetidae, Felidae, Canidae, Procyonidae y Mustelidae son compartidas (Álvarez y Lachica, 1991). Las familias Didelphidae, Molossidae, Phyllostomidae y Dasypodidae son neotropicales y avanzan a la región neártica (Álvarez y Lachica, op. cit.), Mormoopidae, Natalidae y Desmodontidae son de origen neotropical y se restringen a regiones cálidas y húmedas de la Reserva.

La topografía abrupta y variada de la zona permite la formación de cuevas y oquedades, que se utilizan como madrigueras y sitios de descanso (con un microambiente adecuado) de murciélagos (Mormoopidae, Phyllostomatidae,

Natalidae, Vespertilionidae y Molossidae), zorros (*Urocyon cinereoargenteus*) y zorrillos (*Mephitis macroura*), entre otros.

Los murciélagos *Pteronotus parnelli* y *Leptonycteris nivalis* y, las ardillas *Sciurus aureogaster* y *Spermophilus mexicanus*, presentes en la Barranca son endémicas de Mesoamérica, lo que nuevamente confirma la importancia de la conservación de esta zona, como reservorio genético de sus poblaciones.

### **Peces**

Según Zárate (2003), la ictiofauna del río y la laguna Metztitlán se representa por las familias Poeciliidae, Cichlidae, Cyprinidae, Atherinidae y Characidae. Las dos primeras son de origen neotropical transicional y la tercera de origen neártico, lo que indica que la Reserva es un corredor entre ambas regiones.

Ante la escasez de la ictiofauna del embalse y por su valor económico, en 1992 se introdujeron tilapias (*Oreochromis aureus*, *Oreochromis niloticus*, *Tilapia rendalli*), carpas (*Cyprinus carpio*) y bagres (*Ictalurus punctatus*). Son ocho las especies que se encuentran dentro de la laguna Metztitlán (Anexo B).

### **Reptiles**

Debido a los ciclos de vida de este grupo y tipo de actividad, típicos de regiones de clima seco semihúmedo, suelos pedregosos, topografía accidentada, escasa vegetación y áreas abiertas, su distribución es amplia en la RBBM lo que permite considerar su presencia en el área de influencia del proyecto, pues en esas condiciones encuentran microhábitats que facilitan su alimentación y reproducción. En el Anexo B se enlistan 23 especies y su categoría de riesgo.

Los individuos de este grupo pertenecen al orden Squamata, subórdenes Lacertilia y Ophidia, con cinco y tres familias respectivamente. Las familias de lacertilios de origen neártico y con infiltración en la región neotropical son Xantusidae y Scincidae. La familia Teiidae es neotropical, la Iguanidae comprende en la región al menos un género neártico transicional (*Sceloporus*),



la Anguidae con un género (*Gerrhonotus*) penetra hasta Centroamérica y dos más (*Abronia* y *Barisia*) neárticos estrictos (Álvarez y Lachica, 1991).

La familia Viperidae con el género *Crotalus*, es de regiones compartidas, en tanto que la familia Colubridae, con siete especies (incluye tres acuáticas), muestra géneros compartidos y endémicos del país (Álvarez y Lachica, *op. cit.*), mientras que la familia Elapidae, se representa por el género *Micrurus*, que se comparte en ambas regiones zoogeográficas (Álvarez y Lachica, *op. cit.*).

#### 4.1.4. Aspectos sociales y económicos

**Demografía.** De acuerdo al Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2005), la población del municipio de Metztlán es de 20 123 individuos, de los cuales el 46.5 % corresponde al sexo masculino y el 53.5 % al femenino. La distribución de edades se observa en la Figura 4.3. Se reconocen 5 339 hogares; en el 71.2 % el hombre es jefe de familia y la mujer en el 28.8 %.

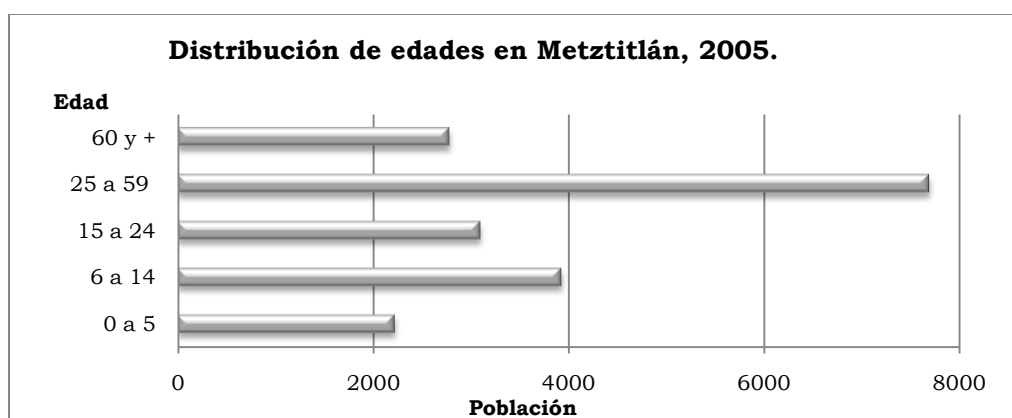


Figura 4.3 Distribución de edades en el municipio de Metztlán, 2005.

**Salud.** El municipio de Metztlán se atiende por un puesto periférico del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores de Estado (ISSSTE), que cuenta con nueve centros de salud tipos B y C y consultorios rurales. Además, hay una unidad médico-rural del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y 26 casas de salud en diferentes comunidades sin



embargo, sólo 1190 personas cuentan con servicio médico. Es decir, menos del 10 % de la población puede acceder a servicios médicos por problemas sanitarios que surgen cuando se presentan inundaciones (Figura 4.4).

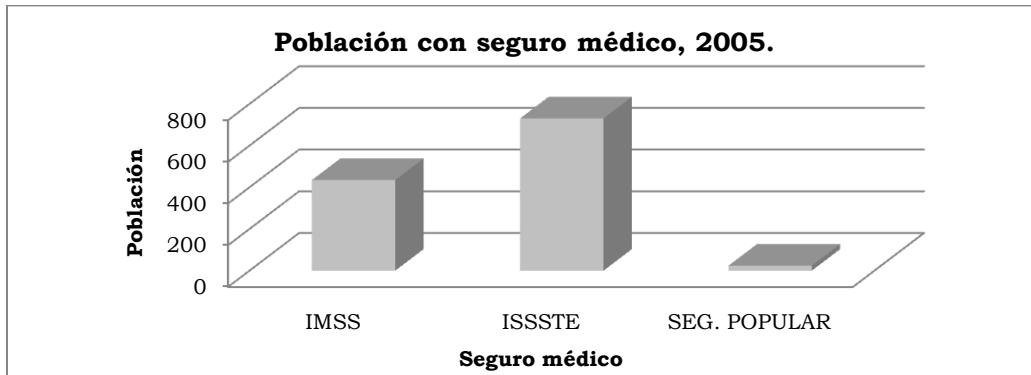


Figura 4.4. Población con seguro médico en Metztlán, 2005.

Es importante mencionar que sólo parte de los hogares tienen beneficios de aparatos electrodomésticos, como puede observarse en la Figura 4.5.

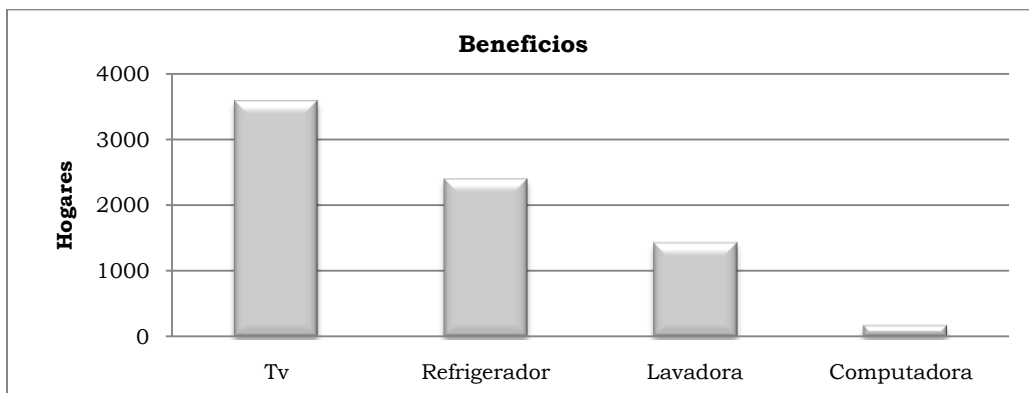


Figura 4.5. Hogares con beneficios adicionales en Metztlán, 2005.

**Actividades económicas.** La actividad de mayor importancia económica es la agricultura de riego del DR-08 Metztlán, el cual inició operaciones en 1953 y se oficializó por acuerdo presidencial el seis de febrero de 1954. Tiene una extensión de 5 837 ha de las que 4 912 ha son regables (CONAGUA, 2008).

Esta actividad se afecta gravemente por inundaciones, como las de 1998 y 1999 que anegaron 1 767 y 3 338 ha respectivamente. La última cifra equivale al 66 % del DR-08, donde la inundación permaneció ocho meses (CNA, 2003).

Se manejan dos ciclos de cultivo al año (otoño-invierno y primavera-verano), segundos cultivos y perennes, todos de importancia para la comunidad (Cuadro 4.5). Conforme el Programa de Producción Agrícola 2008 -2009, el valor de la producción del DR-08 es 128 754 000 pesos (CONAGUA, 2008). Información sobre la producción y rendimientos se exponen en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.5. Cultivos en diferentes ciclos del Distrito de riego 08, 2008-2009.

Cultivo	Primeros cultivos			Segundos cultivos	
	Otoño-invierno	Primavera-verano	Perennes		
Calabacita	✓	✓	Aguacate		✓
Ejote	✓	✓	Alfalfa		✓
Frijol	✓	✓	Durazno		✓
Maíz	✓	✓	Frutales asociados		✓
Otras hortalizas	✓	✓	Granada		✓
Tomate	✓		Nogal asociado		
Otros cultivos	✓				
Papa	✓				✓
Sorgo	✓	✓			✓
Jitomate	✓				✓
Chile verde					✓

Fuente: CONAGUA, 2008

Cuadro 4.6. Producción agrícola en el Distrito de riego 08, 2008-2009.

Ciclo/ Cultivos	Superficie sembrada y cosechada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Valor producc. (miles \$)	Costo producc. (miles \$/ha)
Otoño-invierno	1890	6.7	12610	45816	16.7
Primavera-verano	850	7.7	6520	19828	14.8
Perennes	132	20.4	2695	6675	19.3
1er cultivo	2872	7.6	21825	72319	16.3
2do cultivo	2040	7.1	14585	56435	17.9
<b>Total</b>	<b>4912</b>	<b>7.4</b>	<b>36410</b>	<b>128754</b>	<b>17.0</b>

Fuente: CONAGUA, 2008.

Las características de la infraestructura hidráulica del DR-08 permiten desde el año 2004 una eficiencia en la conducción del agua de 75.8 % (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7. Infraestructura hidráulica del Distrito de riego 08

<b>Concepto (Km)</b>	<b>Red mayor</b>	<b>Red menor</b>	<b>Total</b>
Canales revestidos	16.81	20.13	36.21
Canales sin revestir	28.59	11.14	39.73
Canales entubados	9.11		9.11
Caminos			57.02
Drenes			8.22
<b>Total</b>	<b>54.51</b>	<b>31.27</b>	<b>151.01</b>

Fuente: CONAGUA, 2008.

En el Cuadro 4.8 se puede observar las formas de tenencia de la Tierra.

Cuadro 4.8. Tenencia de la tierra en el municipio Metztlán

<b>Tipo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Parcela media (ha)</b>
Ejidal	1596.31	1572	1.02
Otros	---	---	---
Pequeña propiedad	3313.29	1450	2.29
Pequeña propiedad pozos particular	---	---	---
<b>Total</b>	<b>4909.60</b>	<b>3022</b>	<b>1.66</b>

Fuente: CONAGUA, 2008.

#### a) Pesca

Se practica en la laguna Metztlán desde hace 10 años, cuando se introdujo peces de valor comercial (tilapias *Tilapia rendalli*, *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* carpas, *Cyprinus carpio* y bagre *Ictalurus punctatus*). Las condiciones fluctuantes del embalse por sequías y derivación del agua del río provocan eventualmente la pérdida total del espejo de agua y de con ello, de ictiofauna. Se favorecen cerca de 120 pescadores de Hualula (35), San Cristóbal (35), Nueva Esperanza (18) y Yateco (32). La actividad se combina con agricultura y en menor grado, servicios. El producto es para el mercado local.

## b) Ganadería

La ganadería compone de especies de ganado caprino y bovino. El sistema de manejo es extensivo en libre pastoreo y los animales se alimentan del ramoneo con la vegetación que se encuentra principalmente en las proximidades de las localidades, el rastrojo de los cultivos y de la vegetación en la planicie de la laguna, cuando ésta tiene poca agua. De acuerdo a INEGI (1990-1995 en CONANP, 2003), sólo se tiene registros para ganado bovino (2 183 cabezas) y caprino (14 519 cabezas), los ganados ovino, equino y aves es desconocido.

### 4.2 Metodología

Para evaluar el impacto ambiental de la obra se partió de la matriz de Importancia (tiene el mismo esquema que la matriz de Leopold (Espinoza, 2001)), para identificar las acciones del proyecto y los parámetros ambientales que serán probablemente afectados. Se realizó una valoración cualitativa al aplicar la ecuación (2.1) en las casillas de la matriz, que relacionó actividades y parámetros. Éstos se seleccionaron de la lista que dispone el método cuantitativo Batelle Columbus (MBC).

Se realizó la valoración de los parámetros Con y Sin proyecto. Para ambos casos se generaron escenarios. El primero consistió en las inundaciones que ocurren en el área de influencia del proyecto y el segundo, bajo el escenario de la operación del túnel con desfogues hasta la cota 1232.74 en época de lluvia. El método se describe en la Figura 4.6.

**Criterios y metodologías.** Para determinar el valor de cada parámetro, se partió de los criterios del MBC los cuales se concentran en el Anexo D.

**Transformación a Índices de Calidad Ambiental.** Para calcular el ICA en unidades que sean comparables, se asignó un valor de uno al óptimo valor del parámetro y al pésimo el de cero; entre ambos valores están los intermedios que definen la calidad del parámetro. La “*función de transformación  $f(M_i)$* ” de la

calidad ambiental de un parámetro  $i$  en términos de su magnitud ( $M$ ) se definió en la ecuación 2.2.

**Ponderación de la importancia de los parámetros.** En los parámetros que se seleccionaron en la matriz de Importancia se redistribuyó las 1000 unidades que dispone el MBC y con ello el Índice Ponderal (IP) de cada factor, pero se respetó la proporción de cada factor en el medio ambiente (Cuadro 4.9).

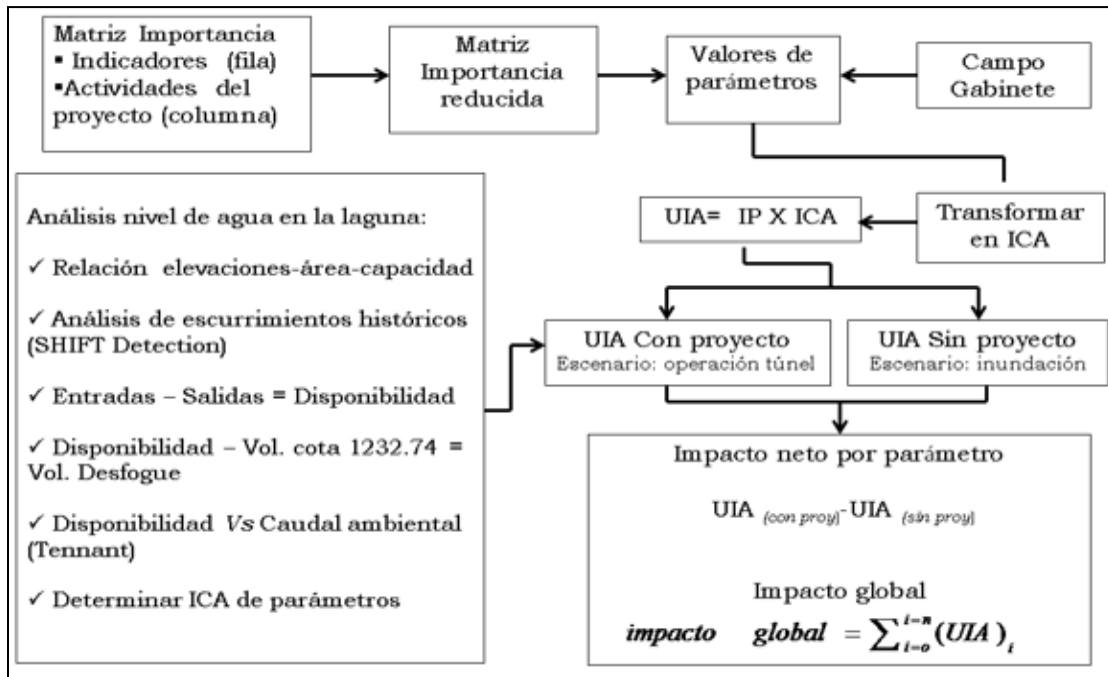


Figura 4.6. Metodología de Evaluación de Impacto Ambiental

Cuadro 4.9. Redistribución de Índices Ponderales

Categoría	IP asignado	(A)	(B)	Redistribución de IP IP = IP asignado + B
Contaminación				
-Pérdida de agua en cuencas	20	240 IP-100% 20 IP - % ?	162 IP -100 % IP ? - A %	
		$(20 \cdot 100) / 240 = 8.3$	$(162 \cdot A) / 100 = 13.5$	$33.5 = 20 + 13.5$
-Oxígeno disuelto	31	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Suma de IP	402	100%		
Suma de IP de factores seleccionados	240			
Diferencia	162			

**Expresión del impacto neto.** Para obtener las UIA de cada parámetro, se usó la expresión:

$$(UIA) = (ICA)_i \times (IP)_i \quad (4.1)$$

Al aplicar el sistema a la situación del medio si se lleva a cabo el proyecto y, a la que tendría si no se realiza se tuvo dos valores para cada parámetro:

$$\text{Sin proyecto, } (UIA)_{\text{Sin proyecto}} \quad (4.2)$$

$$\text{Con proyecto, } (UIA)_{\text{Con proyecto}} \quad (4.3)$$

La diferencia de ambos valores, indicó el impacto neto del proyecto:

$$(UIA)_{i \text{ Con proyecto}} - (UIA)_{i \text{ Sin proyecto}} = (UIA)_{i \text{ Debido al proyecto}} \quad (4.4)$$

Mientras que el impacto global debido al proyecto se determinó por:

$$\text{impacto global} = \sum_{i=0}^{i=n} (UIA)_{i(\text{debido al proyecto})} \quad (4.5)$$

En los casos donde se puede producir una alteración significativa, se colocó una bandera roja como parte de las señales de alerta del proyecto.

**Determinación de caudal ambiental.** Para complementar la EIA de la obra *Con proyecto*, se empleó el método Tennant (1976) que determinó los caudales ambientales de la laguna Metztitlán y que adicionalmente permitió, compararlos con los volúmenes de agua que quedarán en el embalse una vez que funcione el túnel propuesto y con ello, conocer la salud del ecosistema.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se dividen en varios apartados. El primero es relativo a la obra y biodiversidad de la zona de interés, el segundo a la identificación de variables y actividades de la obra así como la valoración cualitativa mediante la matriz de Importancia y el tercero, a la valoración cuantitativa por el método Batelle Columbus. El último apartado se subdivide en la valoración de los parámetros Sin proyecto (escenario de inundación), Con proyecto (operación del túnel) y finalmente, la valoración del impacto global de la obra.

### 5.1 De la obra y biodiversidad de la zona de interés

#### 5.1.1 Construcción del túnel, obras de protección y presupuesto

Con base en la información que proporcionó CNA para este trabajo, se requiere de casi un millón de m<sup>3</sup> de material para las obras de protección de ambos ríos y sólo se extraerá la mitad de los seis bancos de material (Cuadro 5.1), éste se distribuirá conforme la Figura 5.1.

Cuadro 5.1. Volumen de material requerido (m<sup>3</sup>)

Material	Río Almolón	Río Amajac
Vol. total necesario	488 645.6	488 645.6
Suma		<b>977 291.2</b>
Volumen que se extraerá de los bancos		398 499.6
<b>Diferencia</b>		<b>578 791.6</b>

Conforme CNA (2003), el costo de la construcción del túnel será de casi 68 millones de pesos; la mayor parte se destinará al camino de acceso y la construcción del túnel (Figura 5.2). Se estimó 95 millones de pesos para las obras de protección; 78 para Amajac y 17 para Almolón (CNA, 2003). En la Figura 5.3, se señalan los porcentajes de material que se requieren en las operaciones de los ríos. Porque los estos presupuestos son del año 2003, se deberá hacer una actualización de costos, en caso de construirse el túnel.

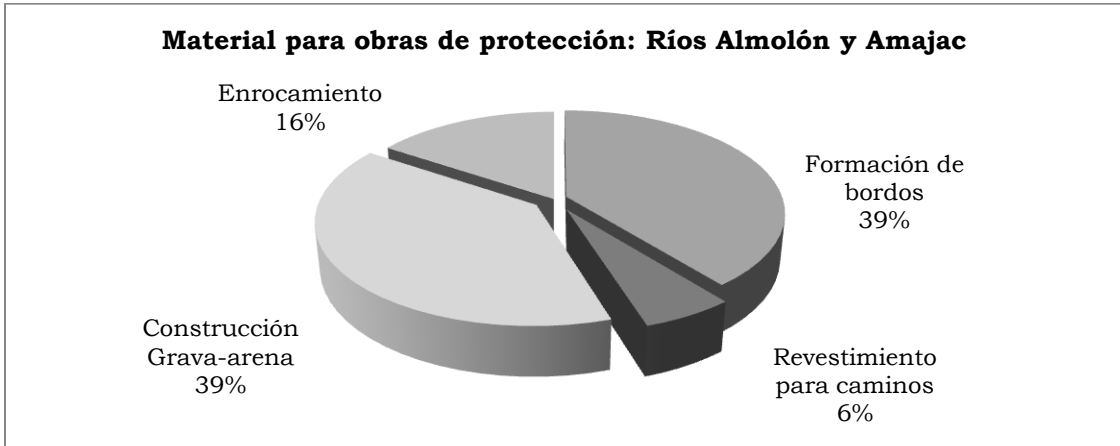


Figura 5.1. Distribución del uso de material

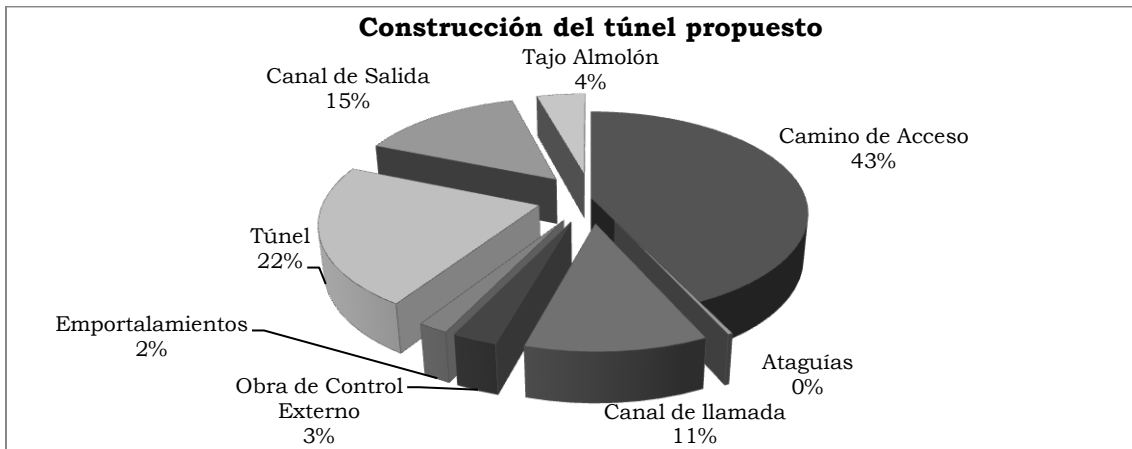


Figura 5.2. Distribución de los costos en la construcción del túnel propuesto

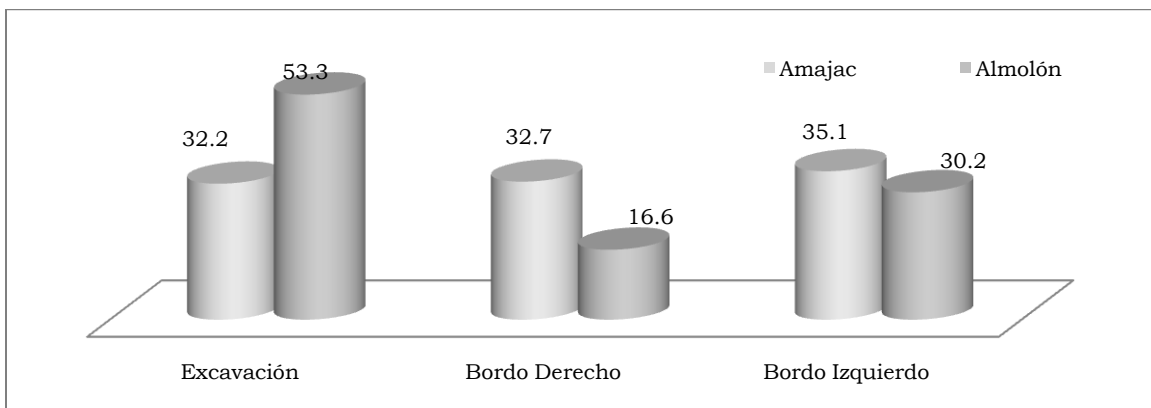


Figura 5.3. Costo de las obras de protección



### 5.1.2 Flora y fauna

Se revisó la diversidad florística y faunística del área de influencia del proyecto y zonas naturales aledañas, con base en el Programa de Manejo de la RBBM y la NOM-059-SEMARNAT-2001, se complementó con trabajos de tesis y artículos científicos e incluso, algunos sin publicar.

Se registró 39 especies con estatus crítico:

- Flora.- Integra 12 especies; seis en la categoría Especie Amenazada y seis en Protección especial, nueve son endémicas de México y tres de la Barranca de Metztitlán (Cuadro 5.2).
- Fauna.- Incluye especies; 11 en la categoría Especie Amenazada, 15 en Protección Especial y una en Peligro de extinción, son ocho endémicas de México (Cuadro 5.2).

De la revisión bibliográfica se encontró lo siguiente:

**Mamíferos.** La CONANP (2003) se reporta 16 especies de murciélagos que se asocian al área de influencia del proyecto. Adicionalmente, Juárez-Castillo (2006) reportó nueve especies: *Antrozous pallidus*, *Idionycteris phillotis*, *Choeronycteris mexicana*, *Corynorhinus mexicanus*, *Myotis velifer*, *Artibeus intermedius*, *Artibeus literatus*, *Pterornotus davyi* y *Eptesicus fucus miradorensis*. En total suman 25 especies y 17 géneros (familias Mormoopidae, Phyllostomatidae, Natalidae, Vespertilionidae y Molossidae).

**Peces.** Gutiérrez (2004) reportó una nueva especie para la laguna Metztitlán, *Ictalurus mexicanus*, la cual se encuentra en estado de Protección especial y es una de las 10 especies de fauna endémicas de México.

Dentro de la revisión de literatura no se localizó estudios de distribución espacial-temporal de dichas especies.

Cuadro 5.2. Flora y fauna con estatus crítico, NOM-059-SEMARNAT-2001.

FAUNA		FLORA	
Nombre científico	Nombre común	Nombre científico	Nombre común
<b>Amenazada</b>			
<i>Anas platyrhynchos</i> §	Ave	<i>Astrophytum ornatum</i> <sup>1, †</sup>	Biznaga liendrilla
<i>Bassariscus astutus</i> <sup>1 †</sup>	Cacomixtle	<i>Cephalocereus senilis</i> <sup>1, † ‡</sup>	Viejito
<i>Bubo virginianus</i> <sup>1 †</sup>	Tecolote cornudo	<i>Lophopora diffusa</i> <sup>2, †</sup>	Peyote
<i>Dipodomys p. phillipsii</i> <sup>1 †</sup>	Ratón canguro	<i>Mammillaria humboldtii</i> <sup>1, †</sup>	B** bola de nieve
<i>Leptonycteris nivalis</i> <sup>1</sup>	Murciélago trompudo	<i>Mammillaria longimamma</i> <sup>1, †</sup>	B** dedos largos
<i>Myadestes unicolor</i> §	Ave	<i>Mammillaria schiedeana</i> <sup>1 † ‡</sup>	B** de Metztlán
<i>Oporornis tolmiei</i> §	Ave		
<i>Taxidea taxus</i> <sup>1</sup>	Tlalcoyote		
<i>Thamnophis cyrtopsis collaris</i>	Culebra listonada		
<i>Thamnophis cyrtopsis pulchrilatus</i> <sup>1</sup>	Culebra cuello negro		
<i>Thamnophis proximus rutiloris</i> <sup>1</sup>	Culebra occidental		
<b>Protección especial</b>			
<i>Accipiter cooperi</i> <sup>1 §</sup>	Gavilán de Cooper	<i>Aporoctus flagelliformis</i> <sup>1</sup>	Cactus junco
<i>Accipiter striatus</i> <sup>1 §</sup>	Gavilán pechiblanco	<i>Echinocactus platyacanthus</i> <sup>1</sup>	B** gigante
<i>Ardea herodias</i> <sup>1 †</sup>	Garzón cenizo	<i>Ferocactus histrix</i> <sup>1</sup>	B** de acitrón
<i>Asio flammeus</i> §	Ave	<i>Mammillaria pringlei</i> <sup>2, †</sup>	B** pringle
<i>Buteo swainsoni</i> §	Ave	<i>Mammillaria wiesingeri</i> <sup>1 † ‡</sup>	B**
<i>Crotalus atrox</i> <sup>1</sup>	Cascabel	<i>Mammillaria schiedeana dumetorum</i> <sup>1†</sup>	B** Metztlán
<i>Falco peregrinus</i> §	Ave		
<i>Grus canadensis</i> §	Ave		
<i>Ictalurus mexicanus</i> <sup>2 † *</sup>	Bagre del río verde		
<i>Lepus californicus</i> <sup>1 †</sup>	Ardilla gris		
<i>Lepydophyma sylvaticum</i> <sup>1 †</sup>	Lagartija nocturna		
<i>Myadestes occidentalis</i> §	Ave		
<i>Psarocolius montezuma</i>	Ave		
<i>Scincella gemmingeri</i> <sup>1 †</sup>	Lagartija espinosa		
<i>Tachybaptus dominicus</i> §	Ave		
<b>Peligro en extinción</b>			
<i>Myotis californicus</i>	Liebre cola negra		

<sup>1</sup> CONANP (2003)

\*Gutiérrez (2004)

<sup>2</sup>NOM-059-SEMARNAT-2001<sup>†</sup> Endémica México

§ Ortiz-Pulido, et al., (2009, Dirección RBBM)

‡ Endémica Barranca Metztlán

B\*\* Biznaga

Se debe observar que no toda la biodiversidad descrita se encuentra en el área de inundación y por tanto solamente se afectará aquella cercana al embalse y área inundable. La flora es más susceptible que la fauna debido a su inmovilidad y porque es intolerante a cambios tan drásticos (matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio), salvo la vegetación ribereña que tiene un

sistema radicular que le permite soportar estas condiciones y que además, no tiene ejemplares en la NOM.

En lo referente a la fauna, son vulnerables las aves acuáticas residentes, como *Agelaius phoeniceus*, *Chloroceryle americana*, *Megaceryle torquatus*, *Sayornis nigricans*, *Actitis macularius*, *Fulica americana*, *Gallinula chloropus*, *Plegadis chií*, *Aechmophorus occidentalis*, *Nycticorax nycticorax*, *Charadrius vociferus*, *Egretta thula*, *Ardea alba*, *Oxyura jamaicensis*, *Anas platyrhynchos* y *Ardea herodias*, Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección RBBM), las dos últimas se encuentran en categorías de riesgo (Amenazada y Protección especial), su presencia es común y rara respectivamente.

Las aves acuáticas migratorias arriban a la laguna de diciembre a febrero, bajo el supuesto que el túnel operará de marzo a septiembre, no se afectarán. En lo que respecta a los demás grupos, se pueden desplazar para evitar la crecida o bien, para beber agua.

Por todo lo anterior, es difícil predecir las especies y cantidad que se afectarán; se estimó indefinido.

## **5.2 Identificación de variables, actividades e impactos ambientales**

### **5. 2.1 Identificación de variables y actividades en la obra**

Se elaboró la matriz, donde se identificó 42 factores ambientales de los 78 que dispone el MBC (54 % de las variables), que son susceptibles de alterarse en caso de realizar el proyecto en la fase preparación del sitio y construcción o bien, en la fase de operación y mantenimiento. De esta cifra, 11 corresponden a la categoría de Ecología y 14 a Contaminación, algunas variables son:

- Ecología: cosechas, vegetación natural, pesca comercial, especies amenazadas, diversidad de especies, aves acuáticas, uso de la tierra.
- Contaminación: Parámetros que se relacionan con la calidad del agua y atmósfera, erosión y ruido.

Aunque este trabajo se centra en evaluar el impacto ambiental en las categorías de Ecología y Contaminación, también se procuró en las categorías de Aspectos Estéticos e Intereses Humanos:

- Aspectos estéticos: Extensión de la superficie del agua y composición.
- Intereses humanos: Ecológico, hidrológico, geológico y oportunidad de empleo.

Las actividades que se identificaron como parte de la obra son: apertura del camino de acceso, construcción del túnel, canales de llamada y salida, emportalamientos, obras de protección y explotación de bancos de material.

### **5.2.2 Valoración cualitativa: matriz de Importancia**

Se elaboró la matriz de Importancia (se aplicó la ecuación 2.1) para obtener la valoración preliminar de los impactos de la obra en la fase uno; preparación del sitio y construcción y en la fase dos; operación, los que se concentran en el Cuadro 5.3 y en forma extensa en el Anexo C.

En un ejercicio adicional se empleó nuevamente la ecuación 2.1 pero con los máximos valores de cada atributo de la ecuación para tener un esquema de comparación:

- Fase uno: registró un impacto de -6 424 de un total de -28 921 (valor máximo que puede tomar el impacto) es decir el 22 % de la importancia máxima del impacto.
- Fase dos: registró una importancia de impacto de 526 de un total de -3 936 (máximo valor que puede tomar el impacto) es decir, el 13 % de la importancia máxima del impacto.

En una escala de impactos irrelevantes (0-25 %), moderados (26-50 %), severo (51-75 %) y crítico (> 75 %), el proyecto de la construcción del tercer túnel será de carácter irrelevante al presentar 22 % en la fase uno y 13 % en la fase dos.

Cuadro 5.3. Resumen de la matriz de Importancia, valores máximos y porcentajes

Categoría	Fase de preparación del sitio y construcción										Operación	
	Camino de acceso	Construcción del túnel	Canal llamada: Ataguías	Empotalamientos	Canal de salida	Obra de toma	Tajo Almólón	Obras de protección	Explotación bancos	Campamentos	Suma fase de preparación	Suma fase de operación
Ecología	-850	-177	-426	-142	-294	--	-320	-543	-304	-25	-3081	105
Contaminación	-498	-228	-317	-87	-83	-38	-76	-230	-275	-314	-2146	-106
Estética	-630	-105	-193	-99	-262	--	-232	-386	-302	--	-2209	71
I. Humanos	200	75	276	50	50	50	50	125	100	36	1012	456
<b>Total</b>	<b>-1778</b>	<b>-435</b>	<b>-660</b>	<b>-278</b>	<b>-589</b>	<b>12</b>	<b>-578</b>	<b>1034</b>	<b>-781</b>	<b>-303</b>	<b>-6424</b>	<b>526</b>
<b>Valores de importancia máximos</b>												
Ecología	-2688	-672	-1440	-480	-864	--	-864	1824	-672	-96	-9600	-2112
Contaminación	-1770	-960	-1536	-384	-384	-192	-384	-864	-559	1152	-8185	-576
Estética	-1728	-384	-672	-384	-864	--	-768	1824	-576	--	-7200	-384
I. Humanos	-768	-288	-1248	-192	-96	-192	-192	-480	-384	-96	-3936	-864
<b>Total</b>	<b>-6954</b>	<b>2304</b>	<b>-4896</b>	<b>1440</b>	<b>2208</b>	<b>-384</b>	<b>2208</b>	<b>4992</b>	<b>-2191</b>	<b>1344</b>	<b>-28921</b>	<b>-3936</b>
<b>Porcentaje de la importancia del impacto con respecto a su valor máximo</b>												
Ecología	32	26	30	30	34	--	37	30	45	26	<b>32</b>	5
Contaminación	28	24	21	23	22	20	20	27	49	27	26	18
Estética	36	27	29	26	30	--	30	21	52	--	31	18
I. Humanos	26	26	22	26	52	26	26	26	26	38	26	52
<b>% Respecto a totales</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>36</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>13</b>

En la primera fase, la categoría de mayor afectación será Ecología con una importancia de impacto de -3 081 de -9 600 es decir, el 32 % de la importancia máxima del impacto y sus actividades más incidentes:

- Camino de acceso: estima una importancia de impacto de -850 de un total de -2 688 es decir, el 32 % de la importancia máxima del impacto.
- Obras de protección: estima una importancia de impacto de -543 de un total de -1824 es decir, el 30 % de la importancia máxima del impacto.

La importancia del impacto positiva se presenta en ambas fases, los espacios vacíos carecen de impactos.

Las actividades en la construcción del camino de acceso, bancos de material y obras de protección involucran despalmes y la remoción del material térreo en un área de 75 ha, donde disminuirá la vegetación natural con un efecto en la micro fauna que habita en la capa superficial del suelo.

Por otra parte, el uso de maquinaria pesada que remueve el suelo favorece su erosión por lo que se sugiere implementar obras de conservación y en general, programas de rescate, conservación y reintroducción de flora y fauna al ecosistema, como medidas de mitigación de impactos.

La información que proporcionó CNA no especifica el destino del material de remoción (excavación del túnel y la apertura del camino), que en caso de acumularse en área natural de la zona, podrá tener un efecto visual sobre la belleza del lugar; se deberá contemplar el manejo de los materiales. El impacto por los cortes de material en la apertura del camino será en un área de 2.28 ha, de carácter permanente y no provocará fragmentaciones en la zona.

Habrá ruido por el manejo de explosivos (de alta intensidad y duración breve) y la operación de la maquinaria (de baja intensidad, discontinuo y durante 11 meses), el probable efecto será la dispersión temporal de la fauna.

La categoría de Contaminación se afectará en los componentes ambientales agua, suelo, atmósfera y ruido, donde el campamento será la principal fuente de contaminación por el uso de agua, energía y gas natural, que a su vez generará emisiones a la atmósfera como monóxido de carbono e incluso óxidos de nitrógeno procedente de la combustión de la gasolina de la maquinaria, impactos que son de carácter temporal. El campamento se establecerá en el mismo sitio que se ocupó para tal fin en la construcción del segundo túnel de desfogue, no habrá nuevas afectaciones.

Las excavaciones, cortes de material y uso de explosivos en la perforación del túnel, generarán partículas sólidas que se dispersarán en el aire, el impacto es de carácter puntual a parcial y temporal, mientras duren las actividades.

En el Cuadro 5.4 se exhiben los porcentajes de la importancia del impacto con respecto a su valor máximo y en el Cuadro 5.5 su clasificación en intervalos de importancia, donde la ausencia de impactos críticos confirma que el proyecto relativo a la construcción del tercer túnel no es de alto impacto.

En ambas fases se registraron 44 impactos, en el intervalo Severo; 3, Moderado; 27 e Irrelevante; 14, mientras que Ecología y Contaminación presentaron nueve y cuatro impactos moderados respectivamente.

Cuadro 5.4 Porcentaje de la importancia del impacto con respecto a su valor máximo

Categoría	Fase de preparación del sitio y construcción									Operación	
	Camino de acceso	Construcción del túnel	Canal llamada: Ataguías	Empotallamientos	Canal de salida	Obra de toma	Tajo Almolón	Obras de protección	Explotación bancos	Campamentos	Actividades varias
Ecología	32	26	30	30	34	0	37	30	45	26	7
Contaminación	28	24	21	23	22	20	20	27	49	27	18
Estética	36	27	29	26	30	0	30	21	52	0	18
I. Humanos	26	26	22	26	52	26	26	26	26	38	53

Cuadro 5.5. Clasificación de impactos por importancia

Categoría	Intervalos				Total
	0 - 25	26 - 50	51 - 75	> 75	
Ecología	2	9	--	--	11
Contaminación	7	4	--	--	11
Estética	4	6	1	--	11
I. Humanos	1	8	2	--	11
Totales	14	27	3	--	

Intervalos	
0 - 25	Irrelevante
26 - 50	Moderado
51 - 75	Severo
> 75	Crítico

El área de influencia del proyecto, que abarca la laguna Metztlán, el DR-08 y zonas naturales aledañas al río hasta Puente Venados, ocupa 6 420 ha y equivale al 6.68 % de la RBBM (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Área de influencia del proyecto

RBBM (96043 ha)			
Obras	ha	%	Tipo de vegetación
Construcción túnel	0.31	0.00032	Matorral xerófilo
Camino de acceso	2.28	0.00237	Matorral xerófilo
Laguna Metztitlán	581.3	0.60525	Vegetación ribereña
DR-08	5837	6.07749	Zona agrícola
<b>Total</b>	<b>6420.89</b>	<b>6.68</b>	

En el Cuadro 5.7, se exhiben las áreas que se impactarán por obras de protección de los ríos Almolón y Amajac y bancos de material, pero que están fuera del área de influencia del proyecto.

Cuadro 5.7. Impactos fuera del área de influencia

RBBM (96043 ha)				Cuenca Amajac (142200 ha)			
Obras	ha	Vegetación	%	Obras	ha	Vegetación	%
Bancos material:				Bancos			
- Almolón	4.04	M. Xerófilo	0.004	- Benito Juárez	8.1	Agrícola	0.006
- Amajac	5.3	Agrícola	0.01	- Sta. María	13.06	Agrícola	0.009
O. protección Almolón	12.0	Agrícola	0.01	- Maromas	4.06	Agrícola	0.003
Inundaciones Almolón por túnel 3	3.5	Agrícola	0.004	- Iztamichapa	2.8	Bosque pino-encino	0.02
	22.3	M. Xerófilo	0.02	O. Protección Amajac	23	Agrícola	0.016
<b>Total</b>	<b>47.14</b>		<b>0.05</b>		<b>51.02</b>		<b>0.04</b>

### 5.3 Valoración cuantitativa: método Batelle Columbus

#### 5.3.1 Valoración de los parámetros Sin Proyecto

Se realizó bajo el escenario del problema de inundación del DR-08 y zonas contiguas naturales (matorral xerófilo, vegetación ribereña y bosque tropical caducifolio), susceptibles de afectarse por el aumento del nivel y área de la laguna Metztitlán cuando se presentan avenidas extraordinarias, como la que ocurrió en octubre de 1999, donde el embalse avanzó hasta Puente Venados (Figura 5.4).



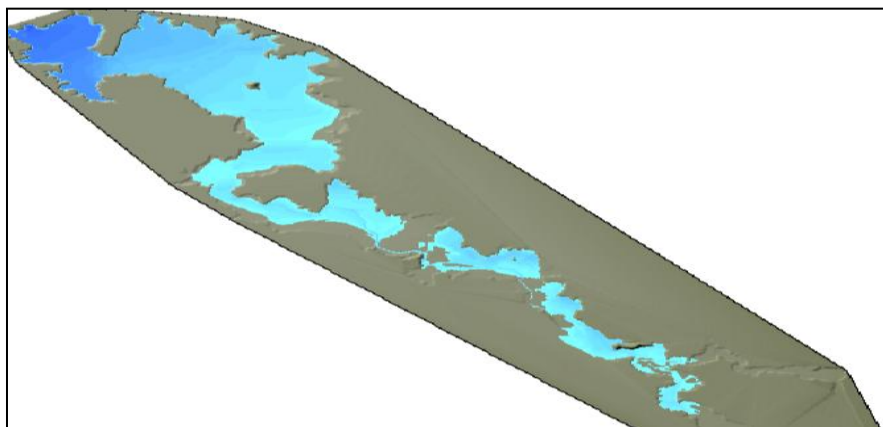


Figura 5.4. Inundación del DR-08 en octubre de 1999 (CNA, 2004).

### 5.3.1.1 Generación del escenario: inundación

Las inundaciones son eventos en el tiempo que transforman la estructura de una población, comunidad o ecosistema y cambian la disponibilidad los recursos y la configuración del ambiente físico (Pickett y White, 1985), incrementan o disminuyen la biodiversidad (Gannon y Willig., 1994; Portilla, *et al.*, 2005), cambian su composición y patrones de distribución y provocan numerosos desajustes ecológicos.

En el escenario propuesto los efectos de la inundación son diversos y tienen repercusiones en los medios social, económico y ambiental:

- Pérdida de cultivos en el DR-08, destrucción de la infraestructura hidroagrícola y de caminos, afectación en zonas rurales y urbanas, incomunicación, migración probablemente sin remuneración, pérdida de empleos (agricultura, pesca, recreación), entre otros.
- Cambio en las características físicas, químicas y biológicas del embalse a causa del arrastre sedimentos, materia orgánica e inorgánica, bacterias coliformes, etc., que aumentan la concentración de sedimentos suspendidos y la turbidez, disminuye el oxígeno disuelto y en general, se observan efectos negativos en la calidad del agua.

- La migración de contaminantes domésticos y nitratos y sulfatos (fertilizantes) al embalse a causa de la inundación, puede producir eutrofización y disminución de la concentración de oxígeno (Zhang, *et al.*, 1999), que amenaza la biodiversidad acuática.
- La inundación con gran duración afecta procesos de erosión y sedimentación, provoca modificaciones en la morfología original del paisaje y permite, la instalación de especies arbóreas de gran capacidad colonizadora como el sauce (*Salix humboldtiana*), Malvárez, *et al.*, (1998).
- Pérdida de vegetación en el área inundable, eventual afectación en la abundancia de flora y fauna terrestre y degradación de la cuenca aguas arriba.
- La inundación puede constituir una barrera para algunas especies, al afectar su alimento y sitios de anidación, lo que provoca su migración a hábitats más productivos (Bó y Malvárez, 1999). En este tópico, es difícil documentar la reproducción y la dispersión de especies (CONABIO, 2009).

En términos generales, se perjudican los usos directos (agricultura, pesca y recreación) e indirectos (protección de la cuenca, conservación de recursos genéticos, regulación del clima, etc.) del área de influencia del proyecto.

Los efectos negativos no suelen limitarse a las áreas inundadas y alrededores, sino que pueden producirse aguas abajo, a km de distancia (López- Pujol, 2008). Sin embargo, conocer al detalle los efectos del desastre sobre determinadas especies y ecosistemas requiere de tiempo y recursos que exceden las posibilidades de este trabajo.

### **Categoría: Ecología**

Componente ambiental: Especies y poblaciones terrestres

**Cosechas.** Se utilizó la ecuación 5.1, donde  $S_i$  se refiere a la superficie sembrada por cultivo (se usaron los cultivos del ciclo agrícola 2008-2009,

Cuadro 5.8) y el Índice de productividad (capacidad que tiene un suelo para producir una cantidad de cosecha por ha/año) que se expresa como porcentaje respecto de la productividad óptima del suelo.

$$\text{Cosechas} = \frac{\sum_1^n \text{Superficie}_i * \text{Índice de productividad}_i}{\text{Area total}} * 100 \quad 5.1$$

Cuadro 5.8. Superficie sembrada por tipo de cultivo, ciclo agrícola 2008-2009

Cultivos	Superficie sembrada en diferentes ciclos (ha)				Total	
	Otoño-invierno	Primavera-verano	Segundos cultivos	Perennes		
Calabacita	110	30	70	Aguacate	10	220
Chile verde			10	Alfalfa	25	35
Ejote	420	250	510	Durazno	20	1200
Frijol	350	100	515	Frutas asociadas	2	967
Jitomate	20		30	Granada	15	65
Maíz	650	300	670	Nogal asociado	60	1680
Otras hortalizas	50	50	10			110
Otros cultivos	50					50
Papa	80		60			140
Sorgo	100	120	15			235
Tomate	60		150			210
<b>Total</b>	<b>1890</b>	<b>850</b>	<b>2040</b>		<b>132</b>	<b>4912</b>

Fuente: CONAGUA, 2008.

El Índice de productividad se calculó con el sistema Riquier (Riquier, *et al.*, 1970), que se adoptó por la FAO y se valoró con la ecuación 5.2.

$$\text{Índice productividad} = \left[ \frac{H}{100} * \frac{D}{100} * \frac{P}{100} * \frac{T}{100} * \frac{S}{100} * \frac{O}{100} * \frac{A}{100} * \frac{M}{100} \right] * 100 \quad 5.2$$

Los factores que contiene son: humedad (H), drenaje (D), profundidad efectiva (P), textura/estructura (T), concentración de sales solubles (S), contenido en materia orgánica (O), capacidad de intercambio catiónico/naturaleza de la arcilla (A) y reservas minerales (M). Se partió de las características del tipo de suelo que prevalece en la zona de la vega de Metztlán (fluvisol calcárico), y se

asumió valores bajos con respecto al tipo de suelo cuando se careció de la información. Al sustituir los valores en (5.2):

$$\text{Índice productividad} = \left[ \frac{50}{100} * \frac{90}{100} * \frac{60}{100} * \frac{50}{100} * \frac{100}{100} * \frac{50}{100} * \frac{85}{100} * \frac{85}{100} \right] * 100 = 5 \%$$

Al sustituir dicho valor en la ecuación 5.1 se obtuvo un porcentaje de 50 % que refleja un ICA de 0.5; bajo el escenario de inundación del DR-08 el ICA desciende a cero.

**Vegetación natural terrestre.** En el área de influencia del proyecto en la RBBM se encuentran matorral xerófilo, vegetación ribereña y bosque tropical caducifolio. Debido a vacíos en la información para determinar los Índices de productividad en cada tipo de vegetación, se asumieron valores bajos con base en la clasificación de productividad de la FAO (1970): productividad excelente cuando su índice está en el intervalo 65-100 %, buena; 35 – 64 %, media; 20-34 %, pobre; 8 -19 % y extremadamente pobre; 0-7 % (Cuadro 5.9).

Cuadro 5.9. Tipos de vegetación e índices de productividad

Tipo de vegetación	Superficie (ha)	Índice productividad (%)
Bosque tropical caducifolio	?	0.35
Matorral xerófilo	6.6	0.80
Vegetación ribereña laguna Metztlán	1426.9	0.5
<b>Total</b>	<b>1433.5</b>	

Se aplicó el criterio del MBC y se obtuvo el valor 50.1 %, que permite un ICA de 0.5. Éste descendió a 0.4 bajo el escenario de inundación, debido a que la vegetación ribereña (99 % del total de la vegetación del área de influencia), tiene un sistema radicular que le permite soportar las inundaciones, por lo que la vegetación que más se afecta es el matorral xerófilo y el bosque tropical caducifolio cercano al área de la laguna y al DR-08.

Componente ambiental: Especies y poblaciones acuáticas

**Pesca comercial.** Este parámetro se estimó mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Pesca comercial} = \left[ \frac{\text{Área habitada} * K}{\text{Máxima área del hábitat}} \right] * 100 = \left[ \frac{581.3 \text{ ha} * 0.67}{581.3 \text{ ha}} \right] * 100 = 67\% \quad 5.3$$

Donde K, equivale al peso derivado del valor de las capturas de especies acuáticas. El método indica que si en una captura la venta es igual o superior a \$1,000 el ICA vale uno y respectivamente \$100: 0.67, \$10: 0.33 y \$1: cero. Aunque el valor de la pesca puede variar, se asumió que éste es igual o mayor a \$100 pesos y deriva en un ICA de 0.67.

En el contexto del incremento de la laguna por avenidas extraordinarias, el sistema se contamina por diversos materiales de arrastre y se afecta a peces de valor económico, el ICA se redujo a cero.

**Aves acuáticas.** Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM) reporta para el área de influencia del proyecto 32 aves migratorias y 16 residentes. Son 17 herbívoras, 23 carnívoras y ocho omnívoras. Se aplicó la ecuación:

$$\text{Aves acuáticas} = \sum_1^n \frac{\text{Log}(D_i * K_i)}{\text{Log } D_i} * 100 = 100\% \quad 5.4$$

Donde  $D_i$  es la densidad de especies;  $n$ , número total de especies y  $K_i$  el modificador del hábitat de cada especie (herbívoro 0.33, omnívoro 0.67 y carnívoros; uno). El resultado es 100 % y el ICA que corresponde es uno.

Se afecta más a las aves residentes que a las aves migratorias, pues estas arriban a la laguna en invierno (periodo de sequía) cuando el desbordamiento va en descenso. Porque la inundación invade sitios de anidación y reduce sus recursos alimenticios y se perjudica su abundancia, el ICA se estimó en 0.2.

Componente ambiental: Hábitat y comunidades terrestres

**Índice de la cadena trófica.** La siguiente ecuación define este parámetro:

$$\text{Índice de cadena trófica terrestre} = \frac{\sum_1^n \text{Log}(D_i * K_i)}{\sum_1^n \text{Log } D_i} * 100 = 100\% \quad 5.5$$

Donde  $D_i$  es la densidad de especies y  $K_i$  el modificador del hábitat (herbívoros 0.33, omnívoros 0.67 y carnívoros uno). Existen en el área de influencia del

proyecto, 170 especies de aves terrestres (Ortiz-Pulido, *et al.*, 2009, Dirección de la RBBM), 23 de reptiles y 50 de mamíferos, con base en sus hábitos alimenticios se obtuvo un resultado del 100 % y el ICA de uno.

En el escenario propuesto, las especies que encuentran su alimento en el área inundable, se dispersan a espacios fuera del disturbio. De acuerdo a Jones, *et al.*, (2001), los murciélagos se mueven temporalmente a áreas fuera de la zona inundada, tal es el caso de *Artibeus intermedius*, *A. jamaicensis*, *A. lituratus*, *Sturnira ludovici* y *Glossophaga soricina* y buscan áreas con mejores condiciones, ya que durante la crecida se pueden afectar los sitios de percha y disminuir los recursos alimenticios (Oporto, 2008).

Otras especies pueden adoptar el mismo comportamiento y debido a que se pueden encontrar en más partes de la RBBM y no sólo en ese punto, cuya superficie a afectar es mínima, se consideró en 0.8 el ICA.

**Uso de la tierra.** La ecuación 5.6 relaciona la suma ponderada de la superficie de cada tipo de uso de suelo en el área de influencia del proyecto por un factor (natural uno, forestal 0.8, agrícola 0.6, residencial 0.4, comercial 0.2 e industrial, cero) expresada en porcentaje de la superficie total.

$$\text{Uso de suelo} = \left[ \sum_1^n \frac{(S_i * P_i)}{S_t} \right] * 100 = 60 \% \quad 5.6$$

En el área de influencia del proyecto, donde ocurren las inundaciones se distinguen dos tipos de uso de suelo: agrícola; DR-08 (5837 ha) y natural; donde se emplazará el túnel y camino de acceso (2.59 ha). El resultado es 60 % y el ICA 0.6, en el escenario propuesto el ICA desciende a cero.

**Especies raras o amenazadas.** Se asocian 39 especies (terrestres y acuáticas) de estatus crítico (NOM-059-SEMARNAT-2001) a matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio (Cuadro 5.10). Cabe mencionar, que no todas las especies descritas se encuentran en el área inundable.

Están 35 especies terrestres en riesgo y de éstas, 14 son endémicas de México. Acorde al MBC, el ICA disminuye conforme aumenta la categoría de riesgo y el número de especies endémicas. Porque en el área de influencia del proyecto existen tres categorías de la NOM y Peligro en extinción es la de mayor riesgo (una especie), el ICA es 0.2. En el escenario propuesto, la fauna se ahoga o se desplaza y la flora es arrancada ó queda bajo el agua. El ICA se estimó en cero.

Cuadro 5.10. Especies en la NOM-059-SEMARNAT-2001

Componente		Categoría de riesgo			NOM-059	Endémica de México
		Amenazada	PE	PEX		
<b>Flora y fauna Terrestre</b>	Flora	6	6	---	12	9
	Aves	3	8	---	11	---
<b>Fauna acuática</b>	Mamíferos	4	1	1	6	3
	Reptiles	3	3	---	6	2
<b>Fauna acuática</b>	Aves	1	2	---	3	---
	Peces	---	1	---	1	1
<b>Total de especies de flora y fauna terrestres y acuáticos</b>					<b>39</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia a partir Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM), Gutiérrez (2004) y CONANP (2003). PE; Protección especial PEX; peligro en extinción

**Diversidad de especies.** Se refiere al número de especies por mil individuos. En campo se trazó un cuadrante de 50 x 50 m, donde se observó la presencia de alrededor de mil individuos y más de diez especies; el ICA es uno. En el escenario propuesto, la biodiversidad que se puede afectar es la cercana al DR-08 (matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio), que depende del área y cota que alcanza la laguna. Aunque el área natural inundable es mínima y la biodiversidad se comparte en otros sitios de la RBBM, se estimó pérdida total de la biodiversidad en el área de influencia del proyecto y el ICA en cero.

Componente ambiental: Hábitat y comunidades acuáticos

**Índice de la cadena trófica.** La ecuación 5.7 define al factor, donde  $D_i$  es la densidad de especies y  $K_i$  el modificador del hábitat (herbívoros 0.33, omnívoros 0.67 y carnívoros, uno).

$$\text{Índice de cadena trófica acuática} = \frac{\sum_1^n \text{Log } (D_i * K_i)}{\sum_1^n \text{Log } D_i} * 100 = 100\% \quad 5.7$$

Son 60 especies acuáticas: aves; 48, anfibios; cuatro y peces; ocho. El resultado corresponde al 100 % y su ICA a uno. En el escenario, las aves se pueden desplazar a sitios con mejores condiciones para anidación y alimento, los anfibios y peces padecen la disminución de alimento o envenenamiento, (también las aves) por la mala calidad del agua, el ICA es igual a cero.

**Especies raras o amenazadas.** Son cuatro las especies en estatus crítico, según la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Cuadro 5.9). Acorde al MBC, el ICA disminuye conforme aumenta la categoría de riesgo y el número de especies endémicas; en Protección especial se ubicó una especie endémica por lo que el ICA es 0.6, para el escenario propuesto se consideró el desplazamiento de las aves a sitios con mejores condiciones, mientras que los peces se afectan por las modificaciones en su hábitat: disminución de oxígeno, contaminantes domésticos, agroquímicos, etc., el ICA disminuye a 0.2.

**Carácter del río.** Este parámetro se determina mediante la suma del área de cada tramo ponderada por un ICA, que se expresa en porcentaje de la superficie total. En el área de influencia del proyecto se distinguen dos ríos: Metztlán y Almolón, para ambos casos y bajo el escenario propuesto se asumió un ICA de cero.

### **Categoría: Contaminación**

Componente ambiental: Agua

**Pérdida en cuencas hidrológicas.** Se refiere a la relación de pérdida de agua debido a actividades humanas entre la descarga natural anual. De acuerdo a CONAGUA (2008), el consumo del agua superficial en la cuenca de Metztlán es estrictamente agrícola. Para el ciclo 2007-2008 se utilizó un volumen de 32.998 millones de m<sup>3</sup>, Mm<sup>3</sup> (32.712 Mm<sup>3</sup> se derivó del río Metztlán y 0.286 Mm<sup>3</sup> se bombeó de pozos profundos), mientras que el aporte del río Metztlán



en el mismo ciclo fue de 229.366 Mm<sup>3</sup>. El volumen sirvió para regar en promedio, 3.4 veces 4 962 ha, en total 17 844 ha de riego.

El agua para consumo doméstico proviene del acuífero Metztlán, del que se extrae 7.3 Mm<sup>3</sup>/año y recarga 8.0 Mm<sup>3</sup>/año por lo que tiene condición de sobreexplotación. Se destina para 26 usos diferentes: agricultura (4.2 Mm<sup>3</sup>/año cuando es insuficiente el agua superficial), público-urbano (2.5 Mm<sup>3</sup>/año), industrial (0.3 Mm<sup>3</sup>/año) y otros (0.3 Mm<sup>3</sup>/año), CNA (1998<sub>a</sub>). El parámetro se define por la ecuación:

$$\text{Pérdida de agua en cuencas hidrológicas} = \left[ \frac{\text{Pérdida por actividades humanas}}{\text{Descarga natural anual}} \right] * 100 = 5.8$$

$$\text{Pérdida de agua en cuencas hidrológicas} = \left[ \frac{32.998 \text{ Mm}^3}{229.366 \text{ Mm}^3} \right] * 100 = 14.4 \%$$

Al sustituir en 5.8 se obtuvo 14.4% lo que permite un ICA de 0.95. En el escenario propuesto, se considera que el incremento del volumen de la laguna y su bajo desfogue (por dos túneles que ya existen al río Almolón), no implican necesariamente aumentar el ICA, ya que una avenida extraordinaria empeora la calidad ambiental de la zona. Porque el parámetro es absoluto sobre la pérdida del recurso por acciones humanas en relación a su descarga natural, se decidió mantener el ICA.

**Oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitrógeno inorgánico, fosfato inorgánico, pH, sólidos disueltos totales y turbidez.** El valor de estos parámetros se tomó de Amado (2006), quien realizó las mediciones en septiembre y noviembre de 2005 y enero de 2006, el promedio de ambos se concentra en el Cuadro 5.11. El sitio de muestreo en la laguna Metztlán tiene las coordenadas geográficas Latitud Norte 20°41' 30.8" y Longitud Oeste 98°50' 16.4".

Amado (2006) reportó la turbidez en unidades Nefelométricas (NTU), por lo que se utilizó un factor de conversión (0.053) para obtener unidades Jackson.

En el caso de nitrógeno inorgánico, se compone de tres formas básicas: amoníaco ( $\text{NH}_4^-$ ) nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Amado (2006) sólo considero los dos últimos componentes y para el fósforo, sólo contiene la concentración orgánica total (suma del fósforo orgánico e inorgánico). Como se desconoce la proporción de las partes, se asumió el valor dado como el inorgánico.

Cuadro 5.11. Parámetros que indican la calidad ambiental del agua

Parámetro	Método de determinación	Valor	Unidades	ICA	ICA Sin proy
Oxígeno disuelto	Cono Imhoff (APHA, 1995)	5.58	mg/l	0.70	0.3
Coliformes fecales	NMX-AA-042-1987	1601	NMP/100ml	0.45	0.2
Nitrógeno inorgánico	NMX-AA-099-SCFI-2006	12.33	mg/l	0.10	0
Fosfato inorgánico	NMX-AA-029-SCFI-2001	6.87	mg/l	0.15	0
pH	M. Potenciométrico (APHA, 1995)	0.37	pH	0.98	0.5
S. disueltos totales	APHA (1995)	1340	mg/l	0.72	0
Turbidez	APHA (1995)	2.86	Jackson	0.38	0

Fuente: Amado (2006).

Amado (2006) indicó que la calidad de agua de la laguna Metztlán es media para todos los usos y se puede utilizar sin tratamiento para fines agrícolas ó industriales. Es aceptable más no recomendable para uso recreativo aunque puede afectar a especies acuáticas y para uso público, requiere tratamiento.

En el escenario propuesto se consideró que la concentración de coliformes fecales, nitrógeno y fosfato inorgánico, sólidos disueltos totales, el pH y la turbidez aumentan por los diversos materiales de arrastre: sedimentos, contaminantes domésticos, agroquímicos, animales muertos, etc., mientras que la concentración de oxígeno disminuye por la descomposición de materia orgánica. La calidad del agua disminuye y por consiguiente su ICA.

Componente ambiental: Atmósfera

**Monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y partículas sólidas.** El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), es una base de datos nacional de la SEMARNAT, que existe desde 2006 y que

proporciona información de 104 sustancias contaminantes que se emiten al ambiente (SEMARNAT, 2009).

Hasta el momento, el RETC carece de sitios de monitoreo atmosférico dentro de la RBBM y el más cercano, se localiza en Pachuca, Hgo. Por la experiencia en campo, se puede decir que el ambiente atmosférico en la zona de estudio está libre de contaminantes; el cielo está totalmente despejado y sin olores desagradables. Por ello, se estima en cero ppm la concentración de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre, y cero mg/m<sup>3</sup> para partículas sólidas, donde el ICA es uno. Debido a que estos contaminantes se liberan a la atmósfera por el uso de combustibles, en el escenario propuesto prevalece su ausencia así como sus ICA.

Componente ambiental: Suelo

**Erosión.** Se valoró la erosión de la Reserva mediante la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (EUPS) con adecuaciones para México según la ecuación:

$$A = R K L S C P \quad 5.9$$

Donde A, es el promedio anual de pérdida de suelo (ton/ha), R es el factor de erosividad de la lluvia (Mj mm/ha hr), K es el factor de erosionabilidad del suelo (ton ha hr/ Mj mm ha), L es la longitud de la pendiente (adimensional), S es el factor de grado de la pendiente (adimensional), C es el factor de manejo de cultivos (adimensional) y P, es el factor de prácticas mecánicas de control de erosión (adimensional). Se asumieron los valores propuestos por SARH-COLPOS (1991); el ICA es 0.3.

$$A = 847.88 * 0.020 * 4.77 * 7.9 * 0.04 * 0.095 = 19.8 \text{ ton ha año}$$

En el escenario propuesto, la erosión se desarrolla en mayor grado en la parte alta cuenca y en menor proporción en el DR-08. Debido a que los sedimentos se depositan en el valle agrícola y en la laguna, se valoró el ICA en 0.2.

Componente ambiental: Ruido

**Ruido.** El indicador de impacto Nivel de Presión Acústica (L), tiene como unidad de medida los decibelios (dB) y se determina mediante la ecuación:

$$\text{Nivel de Presión Acústica} = 10 \log \left[ \frac{P}{P_0} \right]^2 = \text{dB} \quad 5.10$$

Donde P es la presión eficaz del ruido medido y Po, la presión acústica de referencia, que corresponde con la menor presión acústica que un oído joven y sano puede detectar en condiciones ideales ( $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bares}$ ).

En el área de influencia del proyecto las fuentes de emisión de ruido son la maquinaria agrícola y las localidades rurales, pero éste que es infrecuente y esparcido. Aunque emite sonidos la caída del agua de los túneles que ya desfogan al río Almolón, éstos son agradables y no indeseables. El indicador adquiere valor de 40, y su ICA, uno. En el escenario propuesto, el ambiente es libre de ruido; se conserva el ICA.

### **Categoría: Aspectos estéticos**

Componente ambiental: Suelo

**Material geológico superficial.** Es una estimación cualitativa de la diversidad de materiales y colores. Las laderas de la laguna se caracterizan por gravas y rocas sedimentarias, que se distribuyen de manera uniforme a largo y ancho de las elevaciones. En la parte baja (hasta seis m altura), el color del material es café claro y en la parte superior grisáceo. No obstante, el color café obedece al recubrimiento de sedimentos, pues se rayó el material y presentó la misma tonalidad grisácea. La diversidad de materiales es débil, su ICA es 0.2 y aún bajo el escenario propuesto el parámetro no se afecta; se conserva el ICA.

**Relieve y caracteres topográficos.** Se observó dos tipos de relieve, el propio de las laderas de la laguna, cuya morfología es escarpada-aserrada-dentada, cuyas diferencias de relieve se presentan en menos de 100 m y el segundo

tipo, el de la planicie, donde las diferencias de relieve son suaves. Los ICA son 0.45 y 0.1 respectivamente. En el escenario propuesto, se conservan las características de ambos tipos de relieve y como sólo se debe presentar un valor para el parámetro, se sumó los ICA (0.55) y se dividió entre dos (0.275).

Componente ambiental: Aire

**Olor y visibilidad.** Es la estimación subjetiva de la combinación de olores y contaminación del aire. Para el escenario se consideró visibilidad clara y olores desagradables por la mezcla de la avenida con agua negras de zonas urbanas y por descomposición de materia orgánica entre otros, se estimó en cero el ICA.

Componente ambiental: Agua

**Presencia de agua.** Existen dos cuerpos de agua con características diferentes. El río Metztlán es de aspecto visual turbio por la presencia de sedimentos y algas, de flujo moderado. La laguna es turbia y de movimiento suave, los ICA son 0.3 y 0.2. En el escenario, se conserva el flujo de ambos, pero aumenta la turbidez, por lo que en ambos casos se definió en cero el ICA.

**Interfase agua-tierra.** Se relaciona con la extensión y aspecto de la superficie, que corresponde a las variaciones del nivel del agua en los márgenes. La evaluación es subjetiva y se definió como severa por el gran cambio los niveles que alcanza la laguna cuando ocurren inundaciones (Figura 5.5), donde con poco volumen de agua, cambia el área de inundación por lo que el ICA es 0.1.



Figura 5.5. Variaciones del nivel del agua en las márgenes

Foto: Quevedo, 2009.

**Olor y materiales flotantes.** El río y la laguna presentan escasos materiales flotantes y olor imperceptible, lo que implica un ICA de 0.9. Para el escenario se estimó abundantes materiales flotantes y olor desagradable; el ICA es 0.3.

**Extensión de la superficie de agua.** La laguna se ubica en área abierta, no urbana y rodeada de valles. De acuerdo a la CNA (1998<sub>b</sub>), tiene una superficie de 581.3 ha (5 813 000 m<sup>2</sup>), que en caso de avenidas extraordinarias aumenta hasta Puente Venados e invade el DR-08 (5837 ha); el ICA es uno pues su extensión es mayor a 1 000 m<sup>2</sup>.

**Márgenes arboladas y ecológicas.** Relaciona el porcentaje del material geológico y la cubierta arbolada de las márgenes del embalse, entre 50 y 125 m. El material sólido es 100 % gravas y rocas, mientras que el estrato vegetal se conforma por herbáceas y arbustos de matorral xerófilo con poca presencia de árboles. La cobertura es del 30 % y el ICA vale 0.7, que en el escenario propuesto disminuye a 0.1 debido a que el aumento de área de la laguna afecta la vegetación de sus márgenes aunque no modifica el material geológico.

Componente ambiental: Biota

**Diversidad de tipos de vegetación.** El tipo de vegetación que predomina hasta 300 m a partir de la línea de costa de la laguna es de acuerdo al criterio del MBC, del tipo dos (arbustos bajos, hierba), con algo de tres (cultivos de regadío) y cuatro (árboles). Esto significa que la vegetación dominante se forma por matorral xerófilo, cultivos de regadío y árboles de nogal escasos, el ICA que corresponde es 0.7 sin embargo, en el escenario de inundación la franja de 300 m alrededor del embalse se puede cubrir totalmente de agua en la parte norte, este y sur y depende de la cota que alcanza la laguna; el ICA es 0.2.

**Variedad en tipos de vegetación.** Es el porcentaje del tipo de vegetación predominante en la zona, hasta 300 m a partir de la línea de costa del embalse. Se determinó con base en el tipo de vegetación que describe el

método (ver Diversidad de tipos de vegetación); el ICA es uno, para el escenario propuesto 0.6, que es el valor más bajo para esa variedad de vegetación.

Componente ambiental: Composición

**Efectos de composición.** Es la sensación subjetiva del observador con respecto a la zona en el escenario propuesto: débil, media (placentero, encantador) o alta (espectacular, emocionalmente estimulante). La impresión es débil, le corresponde un ICA de 0.2.

### **Categoría: Intereses humanos**

Componente ambiental: Valores educacionales y científicos

**Ecológico, geológico e hidrológico.** El área de influencia del proyecto se inserta en la Barranca de Metztitlán, que es de gran valor; primero por constituir uno de los ecosistemas representativos de la biodiversidad en México, ya que alberga varios sistemas ambientales terrestres y acuáticos a la vez que, actúa como reservorio de una amplia diversidad de especies con buen grado de conservación y alto nivel de endemismo. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) la define como zona prioritaria para la conservación pues es un corredor biológico de zonas áridas del altiplano central del país. Además, la laguna es sitio Ramsar por su importancia para aves migratorias (Ibañez, *et al.*, 2008).

Su valor geológico es por el derrumbe del cerro El Tajo en el Holoceno que originó una represa natural, cuya obstrucción se conoce como el paraje Los Sótanos (CONANP, 2003). Su valor hidrológico es porque la laguna es un humedal natural que interviene en la regulación del clima de la zona.

Aunque el área de influencia del proyecto representa el 6.68 % de la RBBM y es un ecosistema perturbado (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001), la apreciación del sitio en el escenario propuesto es nula en los valores que anteriormente se señaló, salvo el geológico que no se altera por la inundación.

Componente ambiental: Sensaciones

**Integración con la naturaleza.** El valor es subjetivo e implica la sensación que se experimenta al encontrarse en la zona en el escenario propuesto, donde el ICA toma valor de cero.

Componente ambiental: Estilo de vida (patrones culturales)

**Oportunidades de empleo.** Implica el porcentaje de población ocupada respecto a la población activa en el área de influencia del proyecto. La población activa está en condiciones de trabajar y se integra por la población ocupada (quienes trabajan) y la desempleada. En este sentido, la variación del índice de empleo en el área de estudio es decir,  $\Delta CA$  es mayor a cero si el nivel de empleo es creciente y  $\Delta CA$  menor a cero si es decreciente.

El municipio de Metztlán tiene una población económicamente activa de 14 439 personas de ambos sexos; que representa el 71.8 % de la población municipal. Sólo laboran 5 509 personas de ambos sexos, es decir el 38.2 % que deriva en un ICA de 0.65 sin embargo, como la actividad económica del sitio es principalmente la agricultura y ésta se afecta por las inundaciones, el ICA se evaluó en cero.

**Interacciones sociales.** Contempla acciones humanas que permiten la convivencia y armonía entre la comunidad, puede incluir la participación de la sociedad en los temas laboral, político y sindical. La medición es subjetiva, se valoró en cero el ICA porque durante la inundación, hay incomunicación de las localidades por meses.

### **5.3.2 Condición hidrológica actual de la laguna Metztlán**

#### **5.3.2.1 Relación elevaciones – áreas – capacidades**

En la cuenca de Metztlán se presentan avenidas extraordinarias que inundan el DR-08 y áreas aledañas a la laguna, pese al funcionamiento de los túneles actuales uno y dos (cotas 1244.74 y 1232.74 respectivamente). En la Figura



5.6 se muestra la relación elevación-áreas-capacidades, en donde se observa que al aumentar la cota de elevación en la laguna, se incrementa de manera brusca el área inundable y el volumen de agua por arriba de la cota 1235 (para mayor detalle ver Figura 5.7, de los cambios entre las cotas: 1232-1239).

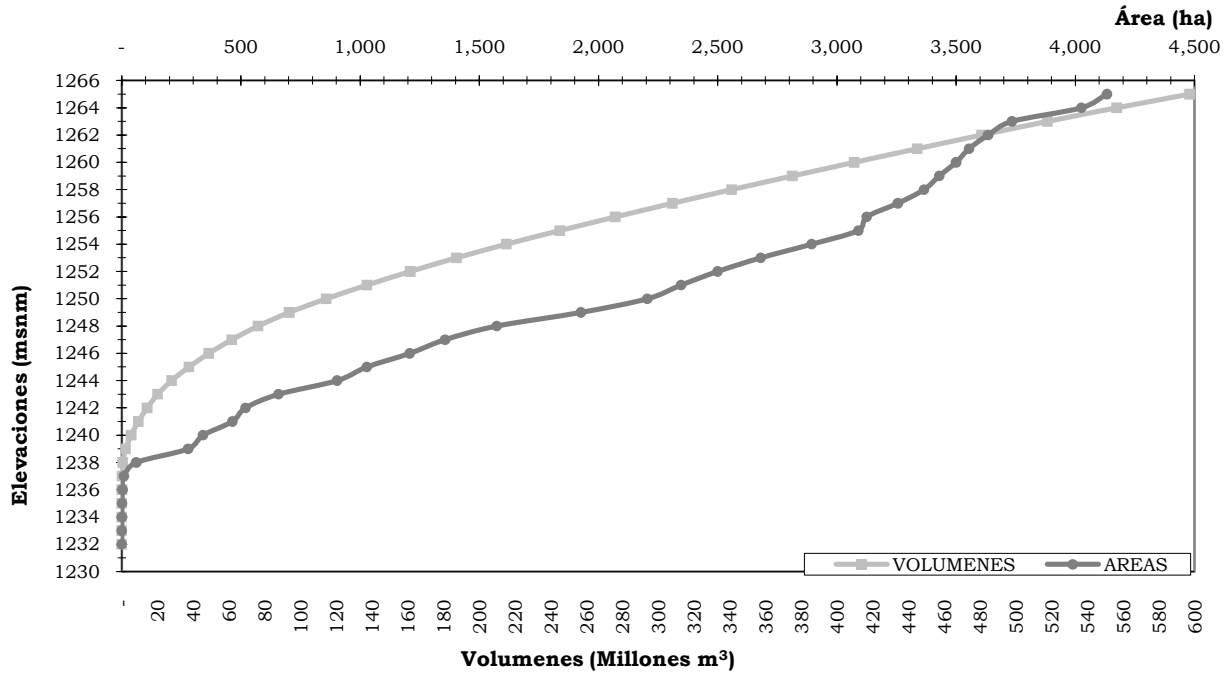


Figura 5.6. Curvas de Elevaciones-áreas-capacidades para la laguna Metztlán. (Se elaboró a partir de datos de la CONAGUA).

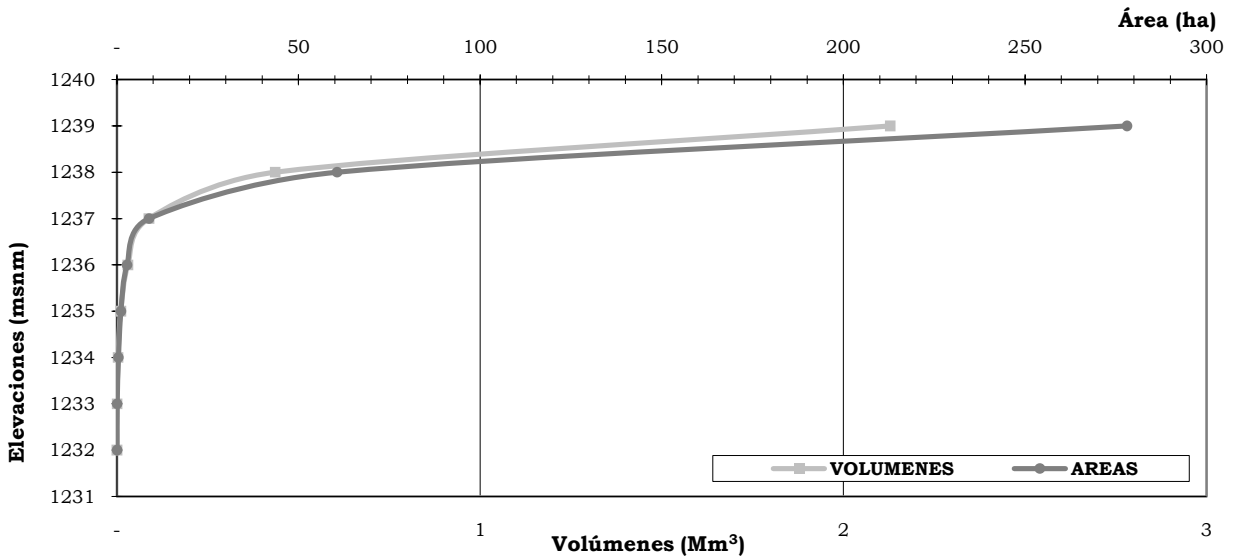


Figura 5.7. Curvas de Elevaciones-áreas-capacidades para la laguna Metztlán, cota 1232-1239. (Se elaboró a partir de datos de la CONAGUA).

En el Cuadro 5.12 se muestra las variaciones del área inundable y de la capacidad de almacenamiento en diferentes cotas. De acuerdo a la carta topográfica F14D61 (INEGI, 1988), el municipio de Metztlán se encuentra entre las cotas 1240-1260.

Cuadro 5.12. Áreas y volúmenes parciales por intervalos de cota, laguna Metztlán

<b>Intervalo</b>	<b>Δ Áreas (ha)</b>	<b>Δ Volumen (Mm<sup>3</sup>)</b>
1232-1234	0.39	0.003
1234-1236	2.37	0.03
<b>1236-1238</b>	<b>57.82</b>	<b>0.41</b>
<b>1238-1240</b>	<b>280.23</b>	<b>4.79</b>
1240-1242	178.55	8.94
<b>1242-1244</b>	<b>383.50</b>	<b>13.69</b>
1244-1246	305.05	20.83
1246-1248	364.88	27.46
<b>1248-1250</b>	<b>631.47</b>	<b>38.14</b>
1250-1252	294.54	46.97
<b>1252-1254</b>	<b>394.68</b>	<b>53.76</b>
1254-1256	230.72	60.98
1256-1258	240.81	65.00
1258-1260	134.38	68.61
1260-1262	134.26	71.21
<b>1262-1264</b>	<b>391.45</b>	<b>75.63</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CNA

Existen seis intervalos principales en los que el incremento de área inundable es significativo, el primero de ellos es en el intervalo de 1236-1238 en donde el área inundable alcanza 57.82 ha y almacena un volumen de 0.41 Mm<sup>3</sup>, el intervalo 1238-1240 tiene área inundable de 280.23 ha y alberga un volumen de 4.79 Mm<sup>3</sup>, el intervalo de 1242-1244 tiene un área de 383.5 ha y 13.69 Mm<sup>3</sup>, el intervalo 1248-1250 tiene un área inundable de 631.5 ha y 38.14 Mm<sup>3</sup>, el intervalo 1252-1254 tiene un área inundable de 394.68 ha y almacena un volumen de 53.76 Mm<sup>3</sup> y finalmente, el intervalo y 1262- 1264, tiene un área inundable de 391.5 ha y 75.63 Mm<sup>3</sup>, lo que representa una baja capacidad de amortiguamiento de los excesos de agua.

### 5.3.2.2 Análisis de los escurrimientos históricos en la cuenca Metztlán

Se realizó el análisis de comportamiento histórico de los escurrimientos de la cuenca de Metztlán (incluye aportaciones de los ríos Metztlán, San Agustín y otras pequeñas corrientes), para evaluar si existe algún cambio en el tiempo sobre el régimen en términos de la media o desviación estándar.

Para ello, se utilizó el software SHIFT Detection (Rodionov, 2004), que reveló cambios significativos en el nivel medio y la magnitud de las fluctuaciones en series de tiempo, con la prueba estadística  $t$  de Student. En una población de dos extremos, contempla un corte de longitud de análisis de cinco o diez años sin embargo, un corte menor implica mayor detección de la magnitud del cambio de la media o desviación estándar. También considera, la función de peso de Hubert (Hubert, 2005), para manejar valores atípicos que afectan significativamente el valor de la media.

Se aplicó el programa con cortes de longitud de cinco y diez años para el periodo 1936-2008, las gráficas de ambos cortes se concentran en el Anexo E. Se observó en ambos esquemas que en el mes de marzo disminuye la media de los escurrimientos, mientras que en noviembre aumenta. En el corte de cinco años se detectó que la media disminuye en el mes de julio, y también disminuye en mayo con un corte de diez años. En el corte de diez años, la media de los escurrimientos aumenta en los meses de agosto, noviembre, diciembre y febrero. Lo anterior permite ver que el periodo invernal tiende a ser más húmedo, mientras que en el verano tiende a ser más seco. Lo que implica que habrá más extremos en términos de escurrimiento, meses más secos y meses más húmedos.

De acuerdo a Tinoco, *et al.*, (2006), quien realizó estudios en la RBBM respecto al cambio climático global y sus efectos en la vegetación, se verán incrementos del 57.1 % y 62.4 % en el clima árido para los periodos 2020 y 2050 respectivamente, por lo que se espera una alteración en la composición y distribución de las comunidades vegetales.

### 5.3.3 Generación del escenario Con proyecto: operación del túnel

#### 5.3.3.1 Escurrimientos probables en la cuenca de Metztlán

A partir de los escurrimientos mensuales del periodo 1936-2008 se determinó la Probabilidad empírica de Excedencia (escurrimiento probable) con la ecuación:

$$\text{Probabilidad de Excedencia} = \frac{m}{n+1} \quad 5.11$$

Donde  $m$  es el número de orden del evento (se ordenaron de mayor a menor) y  $n$  el número de años de observación.

Se utilizaron los escurrimientos que corresponden a una Probabilidad de Excedencia del 80 % (permite asumir una Probabilidad de No Excedencia del 20 %), para calcular los volúmenes de desfogue durante la fase de operación del túnel propuesto.

Es decir, de los escurrimientos probables al 80% se restó la media de los volúmenes mensuales que se extrajeron del río Metztlán del periodo 2005-2008 (CONAGUA, 2008), para conocer la disponibilidad media mensual que arribó a la laguna, tras sumar la disponibilidad de agua en la laguna del mes anterior más el escurrimiento medio que se aportó en el mes actual, menos las extracciones medias para el mismo periodo, con la información promedio mensual del 2005 al 2008.

Debido a que el túnel propuesto (con cota de plantilla 1229.45 y longitud aproximada de 550 m) permitirá desaguar la laguna hasta la elevación 1232.74 (cota del túnel dos) en 13 días para una avenida de 250 m<sup>3</sup>/s y en 60 días para una avenida de 880 m<sup>3</sup>/s, a la disponibilidad se le restó el volumen que mantiene la laguna a esa cota (388.5 m<sup>3</sup>), para conocer los probables volúmenes mensuales de desfogue (Cuadro 5.13), aunque en la información que proporcionó la CNA no se especifica si los desfogues se realizarán sólo en época de lluvia o durante todo el año.

Cuadro 5.13. Volúmenes de desfogue de la laguna Metztlán (millares de m<sup>3</sup>)

	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>
Escurrimiento*	11616.0	6928.0	5813.0	5301.0	3700.0	3508.0	3095.0
Calculado	21082.0	26571.3	29983.4	32768.6	32831.1	32941.2	31910.1
Volumen derivado	1438.7	2400.9	2515.7	3637.5	3397.9	4125.8	3582.3
Disponibilidad	19643.3	24170.4	27467.6	29131.1	29433.2	28815.4	28327.8
<b>Volumen desfogue</b>	19642.9	24170.0	27467.2	29130.7	29432.8	28815.0	28327.5

	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Total</b>
Escurrimiento*	3518.0	4981.0	7876.0	7412.0	13001.0	99589.0
Calculado	31845.8	34850.8	41289.7	47012.2	57568.2	153621.8
Volumen derivado	1976.3	1437.2	1689.5	2445.5	3535.5	32256.0
Disponibilidad	29869.5	33413.7	39600.2	44566.8	54032.8	121365.8
<b>Volumen desfogue</b>	29869.1	33413.3	39599.8	44566.4	54032.4	121365.4

Fuente: Se elaboró a partir de información disponible de la CONAGUA

\* Con una probabilidad empírica del 80%

Los volúmenes de desfogue son casi iguales a los volúmenes disponibles en la laguna, pues ésta sólo puede almacenar 388.5 m<sup>3</sup> hasta la cota de 1 232.74, por lo que la operación del túnel en esta condición reducirá significativamente el volumen de agua en la laguna y su superficie, de 581.3 ha a 0.059 ha (590 m<sup>2</sup>); se observa la baja capacidad de almacenamiento del embalse.

### 5.3.3.2 Volúmenes disponibles en la laguna Vs Caudales ambientales

Se utilizó el método Tennant (1976) para determinar los caudales ambientales mínimo, bueno, excelente, sobresaliente y de rango óptimo para el ecosistema con base en los registros históricos del caudal medio mensual (Cuadro 5.14).

En las Figura 5.8 y 5.9 se puede comparar los caudales ambientales con el volumen de agua que puede almacenar la laguna hasta la cota propuesta de desfogue de 1232.74 (388.5 m<sup>3</sup>), se tiene lo siguiente:

El volumen hasta dicha cota es menor al caudal ambiental mínimo que propone el método Tennant, que se relaciona con un hábitat de supervivencia a corto plazo para la mayoría de las formas de vida acuática y la pérdida de belleza escénica.

Cuadro 5.14. Caudales ambientales propuestos por el método Tennant

Mes	Ecurrimiento medio (millar m <sup>3</sup> )	Mínimo	Bueno	Excelente	Sobresaliente	Rango óptimo
		10%	20%	30%	40%	60%
Enero	7079	708	1416	2124	2832	4247
Febrero	5121	512	1024	1536	2048	3073
Marzo	4387	439	877	1316	1755	2632
Abril	4961	496	992	1488	1984	2977
Mayo	6082	608	1216	1825	2433	3649
Junio	12709	1271	2542	3813	5083	7625
Julio	17200	1720	3440	5160	6880	10320
Agosto	19134	1913	3827	5740	7653	11480
Septiembre	50687	5069	10137	15206	20275	30412
Octubre	41248	4125	8250	12374	16499	24749
Noviembre	13810	1381	2762	4143	5524	8286
Diciembre	8896	890	1779	2669	3558	5338
<b>Total</b>	<b>193522</b>	<b>19352</b>	<b>38704</b>	<b>58057</b>	<b>77409</b>	<b>116113</b>

El embalse registró un volumen disponible menor a 35 Mm<sup>3</sup> de octubre a junio, donde el primer mes es el de menor valor (20 Mm<sup>3</sup>) y junio el más alto (Mm<sup>3</sup>). La mayor disponibilidad se notó de julio a septiembre, donde el último mes obtuvo casi 54 Mm<sup>3</sup>. En todo el año la disponibilidad promedio en la laguna es mayor en relación al caudal ambiental Rango Óptimo-60 % salvo en octubre, aunque es mayor al caudal ambiental Sobresaliente del 40%.

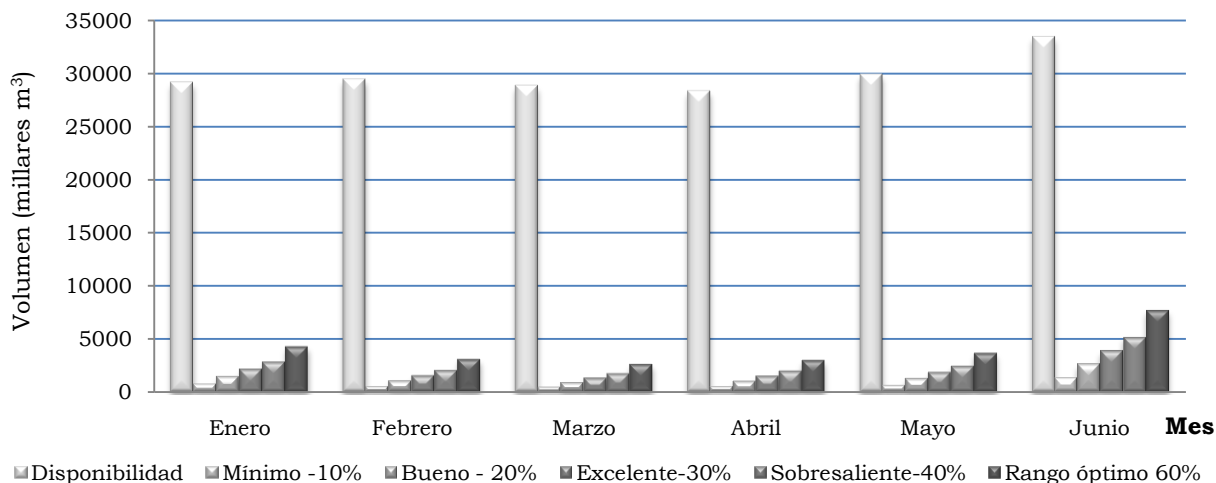


Figura 5.8. Disponibilidad Vs Caudal ambiental, meses de enero-junio

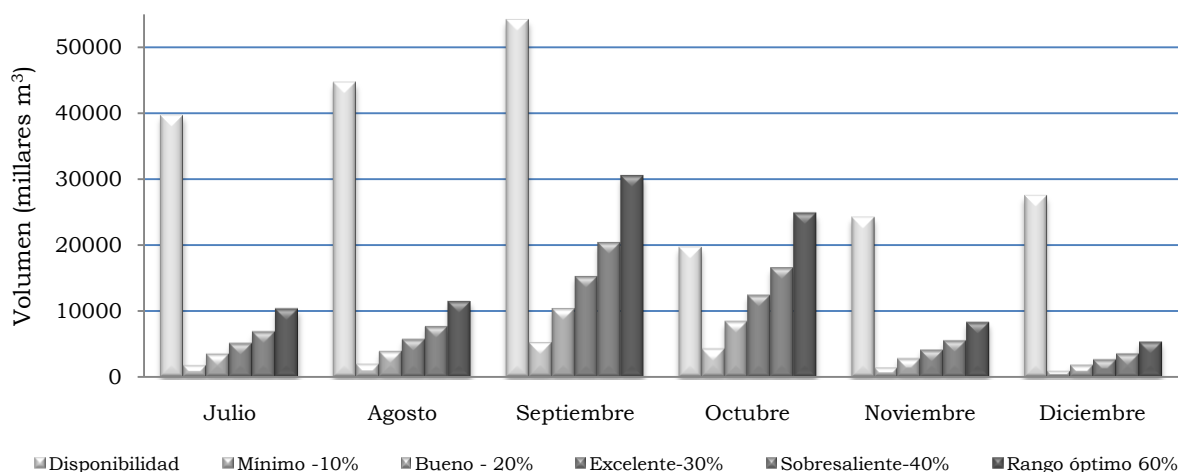


Figura 5.9. Disponibilidad Vs Caudal ambiental, meses de julio-diciembre

Por otra parte, se hizo una relación de elevaciones –áreas -capacidades para la disponibilidad media del periodo 2005-2008, donde los valores extremos se relacionan con las cotas de 1242.94 y 1246.42 y, en el caso del caudal ambiental de Rango óptimo, con las cotas 1239.17 y 1244.27 (Cuadro 5.15).

Cuadro 5.15. Relación de Elevaciones –  $\Delta$  Áreas –  $\Delta$  Capacidades de volumen disponible Vs Rango óptimo (millares de m<sup>3</sup>)

Mes	Vol. disponible (Mm <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (ha)	Rango óptimo (Mm <sup>3</sup> )	Cota (m)	Área (ha)
Enero	29131	1244.14	920.41	4247	1239.69	321.40
Febrero	29433	1244.17	924.16	3073	1239.31	297.56
Marzo	28815	1244.11	916.65	<b>2632</b>	<b>1239.17</b>	<b>288.78</b>
Abril	28328	1244.05	909.15	2977	1239.28	295.70
Mayo	29870	1244.21	929.17	3649	1239.50	309.48
Junio	33414	1244.58	975.46	7625	1240.60	414.54
Julio	39600	1245.19	1062.20	10320	1241.22	475.93
Agosto	44567	1245.64	1143.17	11480	1241.46	489.30
Septiembre	<b>54033</b>	<b>1246.42</b>	<b>1270.10</b>	<b>30412</b>	<b>1244.27</b>	<b>936.67</b>
Octubre	<b>19643</b>	<b>1242.94</b>	<b>649.30</b>	24749	1243.61	807.22
Noviembre	24170	1243.53	787.60	8286	1240.77	435.42
Diciembre	27468	1243.96	893.08	5338	1240.03	344.53

### **5.3.4 Valoración de los parámetros Con proyecto**

Se realizó bajo el escenario de operación del túnel propuesto en la laguna Metztlán y su desfogue hasta la cota 1232.74 en época de lluvia.

Para obtener las UIA Con proyecto de los 42 parámetros que previamente se seleccionaron del MBC, se generó el escenario de operación del túnel.

Para ello, se analizaron los escurrimientos promedios mensuales históricos de la cuenca de Metztlán mediante el software SHIFT Detection (Rodionov, 2004), para el periodo 1936-2008. Se determinaron también, los volúmenes medios mensuales que se derivaron del río Metztlán para el DR-08 del periodo 2005-2008, cuyos valores se restaron de los escurrimientos medios mensuales con una Probabilidad de Excedencia del 80% y con ello, se obtuvieron los volúmenes promedio mensuales que arriban a la laguna (disponibilidad). De la disponibilidad media mensual se descontó el volumen que almacena la laguna hasta la cota de 1232.47 (388.5 m<sup>3</sup>) y se determinaron los volúmenes mensuales que serán desfogados en la operación del túnel, aunque la CNA no especifica en la información que proporcionó para este trabajo, si los desfogues se realizarán sólo en época de lluvia o durante el año.

Finalmente, se empleó el método Tennant (1976) para determinar los caudales ambientales de la laguna Metztlán y compararlos con los volúmenes de agua que quedarán en el embalse una vez que el túnel desfogue hasta la cota propuesta y con ello, conocer el impacto sobre los 42 parámetros del MBC.

#### **5.3.4.2 Parámetros que modifican su ICA al operar el túnel propuesto**

El volumen de agua hasta la cota propuesta es mínimo con respecto a la cantidad media que arriba a la laguna y también, en comparación con el caudal ambiental Rango óptimo, por lo que habrá impactos positivos y negativos por la escasez del recurso en la laguna (Anexo F). Los factores que se afectarán negativamente son:



- Ecología: aves acuáticas, índice de cadena trófica y especies amenazadas acuáticas.
- Contaminación: pérdida de agua en cuenca hidrográfica
- Aspectos estéticos: extensión de la superficie de agua

Al reducir el nivel de la laguna se reducen los recursos alimenticios para especies terrestres y acuáticas y con ello se provoca su desplazamiento a áreas con mejores condiciones. Dicha condición también puede influir en la abundancia de 16 especies de aves residentes en la laguna, de las que dos se encuentran en riesgo (*Anas platyrhynchos*; Amenazada y *Ardea herodias*; Protección especial, Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección RBBM).

Se disminuirá el volumen de almacenaje a 388.5 m<sup>3</sup> y la superficie de 518.3 ha a casi 0.06 ha (590 m<sup>2</sup>) por lo que se perderá gran porcentaje del recurso.

Los factores en los que se influirá positivamente son:

- Ecología: cosechas, vegetación natural, especies amenazadas terrestres, uso de la tierra, diversidad de especies terrestres y carácter del río.
- Contaminación: parámetros que se relacionan con la calidad del agua y erosión
- Aspectos estéticos: olor y visibilidad del aire, presencia de agua, interfase agua-tierra, olor del agua y materiales flotantes, márgenes arbolados ecológicos, diversidad de tipos de vegetación, variedad por tipo y efectos de composición.
- Intereses humanos: Valor ecológico e hidrológico, integración con la naturaleza, interacciones sociales y oportunidad de empleo.

La vegetación natural (ribereña y bosque tropical caducifolio), no padecerá la escasez del recurso pues la operación del túnel será en época de lluvia. Las especies amenazadas de flora son típicas de matorral xerófilo, que se adaptan a la escasez de agua, por lo que la biodiversidad del área se beneficiará con la operación del túnel.

Se estima que el ICA del agua de la laguna variará conforme el flujo de la avenida y que en el caso de un evento extremo, habrá una redistribución de contaminantes y sedimentos en el sistema, que aumentará la concentración de los contaminantes preexistentes y por consiguiente su ICA se reducirá sin embargo, será mayor que el ICA de la inundación. La erosión disminuirá con respecto a las inundaciones, pero se mantendrá con respecto a su tasa anual.

El flujo del agua y el aspecto visual del embalse mejorará durante la operación del túnel en comparación con la inundación. Se estima que la laguna tendrá olor imperceptible y materiales flotantes moderados, a causa del paso constante del agua. La variación del nivel en los márgenes de la laguna continuará pero será débil, pese a eventos extraordinarios. La operación del túnel no tendrá efectos sobre el material geológico y la cubierta arbolada del embalse, la atmósfera local estará libre de olores y habrá buena visibilidad.

Con la operación del túnel propuesto se reducirá el tiempo de permanencia de las inundaciones y con ello la pérdida de cultivos será menor, se podrá utilizar el área agrícola cercana a la laguna y se beneficiará a 1 572 ejidatarios y 1 450 pequeños propietarios del DR-08 (CONAGUA, 2008), a la vez que se incrementará el empleo, mejorará la interacción entre la población, su integración con el medio ambiente y su valor científico.

#### **5.3.4.3 Parámetros que conservan su ICA al operar el túnel propuesto**

- Ecología: Pesca comercial
- Contaminación: Parámetros sobre calidad del aire y ruido
- Aspectos estéticos: material geológico superficial, relieve y caracteres topográficos
- Intereses humanos: Valor geológico

La pesca, parámetros sobre la calidad del aire, aspectos estéticos del suelo y valor geológico se mantendrán, pues no hay relación entre ellos y la reducción de la laguna o bien, el desarrollo del DR-08. El impacto del proyecto sobre los

parámetros anteriores es el mismo que Sin proyecto o bien, no se presenta en ambos escenarios.

### 5.3.5 Determinación del impacto global

El impacto neto global de la construcción del túnel y obras de protección se valoró mediante la diferencia de impactos Con y Sin proyecto, se calculó en 223.6 UIA positivas de un total de 1 000 que propone el MBC es decir, el 22.4% del impacto máximo. La categoría de mayor impacto neto es Intereses humanos con 119 UIA del total de 1 000 es decir, el 11.9 % del impacto máximo (Cuadro 5.16, Anexo F).

En una escala de impactos irrelevantes (0-25 %), moderados (26-50 %), severo (51-75 %) y crítico (> 75 %), el proyecto de la construcción del tercer túnel será de carácter irrelevante al presentar 22.4 % del impacto neto global. Debido a que éste es positivo, el proyecto tiene más beneficios que perjuicios a la comunidad y medio ambiente. Sin embargo y aunque la biodiversidad que se afecta en el área de influencia del proyecto es mínima, el sistema de alerta señala especial atención sobre ésta.

Cuadro 5.16. Valoración de impactos con el método Batelle Columbus

	<b>Ecología</b>	<b>Contaminación</b>	<b>A. Estéticos</b>	<b>I. Humanos</b>	<b>Total</b>
<b>Señales de alerta</b>	X				
<b>UIA Con proyecto</b>	93.6	156.9	78.4	151.3	480.2
<b>Sin proyecto</b>	46.6	141.9	35.8	32.2	256.5
<b>Cambio neto</b>	47.0	15.0	42.6	<b>119.0</b>	<b>223.6</b>
	<b>Porcentajes</b>				
<b>Con proyecto</b>	9.4	15.7	7.8	15.1	48.0
<b>Sin proyecto</b>	4.7	14.2	3.6	3.2	25.7
<b>Cambio neto</b>	4.7	1.5	4.3	<b>11.9</b>	<b>22.4</b>

El MBC (cuantitativo) y la Matriz de Importancia (cualitativo) actúan de manera diferente, pero sus resultados proporcionan la misma información respecto del impacto ambiental que genera un proyecto. En ese sentido, ambos

demuestran que el proyecto relativo a la construcción del túnel es de bajo impacto, al contemplar el 22 % de la importancia de impacto máxima en la fase de construcción y el 13 % en la fase de operación conforme la matriz de Importancia contra el 22.4 % del impacto neto global del MBC.

Se recomienda que la fase de operación del túnel se realice bajo lineamientos que se establezcan en un Reglamento de Operación, que debe cuidar:

- Desfogar en época de lluvia y evitar hacerlo en época de sequía.
- Liberar sólo el volumen excedente del caudal ambiental de Rango Óptimo (60%) propuesto por el método Tennant (1976) para cada mes de inundación.

Esto obedece a que pese a la necesidad de aprovechar los terrenos agrícolas del DR-08 que se inundan por la ampliación de la laguna, no es recomendable desfogar hasta la cota 1232.74, por posibles efectos en la biodiversidad del ecosistema de la laguna Metztitlán, la que actualmente se encuentra en condición geo-hidrológica de sub explotación, pues la recarga es de 8 Mm<sup>3</sup>/año, de los que se extraen 7.3 Mm<sup>3</sup> para uso básicamente público (CNA, 1998<sub>b</sub>).

Además, se propone tomar acciones para evitar que se continúe con la disminución de la capacidad de almacenar agua en la laguna, que puede ser evitando la pérdida de suelo aguas arriba o bien, eliminar el azolve para aumentar su capacidad de amortiguamiento. Montero (2008) indica que la sedimentación ocurre en gran medida en la laguna, alrededor de 20 cm al año y se redistribuye en época de lluvia hacia dentro del embalse, por lo que se pierde la capacidad de almacenamiento y con esto se incrementa la posibilidad de inundar las zonas de aguas arriba. Esto implica que existe erosión en las partes altas de la cuenca, por lo que se debe practicar obras de conservación.

Por otra parte, el Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001), señala que la zona del proyecto

corresponde a la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) XI, que se conoce como la vega de Metztitlán con un área de de 248.8 km<sup>2</sup> y que aunque forma parte de la RBBM, es un ecosistema modificado por la agricultura, cuya problemática ambiental implica inundaciones, uso excesivo de agroquímicos, enfermedades de cultivos, plagas y marginación.

Según el Gobierno de Estado de Hidalgo (2001), el uso que predomina en la UGA es el de Área Natural Protegida (ANP), su política ecológica es el aprovechamiento y es compatible con otros usos: agricultura, pesca y turismo alternativo. También contempla el desarrollo de infraestructura aunque de manera condicionada, por lo que de construirse el túnel, es importante implementar medidas de mitigación de impactos como Programas de rescate, conservación y reintroducción de flora y fauna, el Reglamento de Operación del túnel y otras acciones sobre el azolvamiento de la laguna.

Con la construcción del túnel y el Reglamento de Operación, se asegurará:

- ✓ Minimizar el tiempo de inundación, lo que dependerá del volumen de agua que entre a la laguna cuando se presenten eventos extraordinarios, como los que ocurrieron en 1998 y 1999.
- ✓ Aprovechar los terrenos agrícolas cercanos a la laguna, lo que beneficiará a 1 572 ejidatarios y 1 450 pequeños propietarios del DR-08 (CONAGUA, 2008).
- ✓ Mantener la economía de la población de Metztitlán que depende en gran medida de la agricultura del DR-08, la que de acuerdo al Programa de Producción Agrícola del ciclo 2008 -2009, representa casi 129 millones de pesos (CONAGUA, 2008).
- ✓ Disminuir el riesgo de inundaciones a la población de Metztitlán, así como de incomunicación, enfermedades y epidemias que surgen cuando ocurren estos eventos.
- ✓ Atenuar problemas sociales, como la falta de trabajo y migración, pues conforme el Gobierno del Estado de Hidalgo (2001), Metztitlán es un

municipio donde la migración es fuerte, ya que en el periodo de 1980-1990 fue de cinco a 10 mil habitantes.

- ✓ Controlar las inundaciones en el municipio de Metztlán, que se origina por avenidas extraordinarias y que ocurre con una frecuencia de 2.5 (CNA, 2003).
- ✓ Dar una solución ambientalmente viable al un problema de la sociedad.
- ✓ Fomentar la conservación de la diversidad florística y faunística de la RBBM, así como la función de la laguna Metztlán como humedal, que además se encarga de retener nutrientes y sedimentos, recargar el acuífero y estabilizar las condiciones climáticas locales que en general conservan la salud del ecosistema y su riqueza biológica y genética.

Es plausible que la CONAGUA busque soluciones para el buen funcionamiento del DR-08 y también que la SEMARNAT vigile que dichas soluciones sean armoniosas con el medio ambiente, pues si bien es importante procurar el bienestar y calidad de vida del hombre, también se debe moderar ese objetivo y el uso de los recursos naturales, ya que los excesos pueden provocar desequilibrios en el medio ambiente con la subsecuente pérdida del ecosistema de que se trate y de las condiciones que éste provee. Es imprescindible dejar de ver la conservación ambiental como un gasto, pues en realidad es una inversión que posibilita el uso permanente de los recursos naturales y potencia las capacidades productivas de la economía en su conjunto (Sánchez y Montesillo, 2002).

Por tal motivo, se concluye y recomienda lo siguiente:

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se identificó 42 parámetros ambientales susceptibles de afectarse por la construcción del nuevo túnel mediante la matriz de importancia, de los que 11 corresponden a la categoría de Ecología y 14 a Contaminación.

El impacto neto global del proyecto de acuerdo al método Batelle Columbus es de 223.6 unidades de impacto ambiental de un total de 1 000 unidades que dispone el método es decir, el 22.4 % del impacto máximo, por lo que el proyecto es de bajo impacto y debido a que éste es positivo; habrá más beneficios que perjuicios.

- Ecología y Contaminación registran el 4.7 % y 1.5 % del impacto máximo respectivamente.
- Se rechaza la hipótesis por la inexistencia de impactos críticos en la biodiversidad y recursos naturales de las Categorías de Ecología y Contaminación por el proyecto.
- El impacto neto global es aceptable, el sistema de alerta señala especial atención en la biodiversidad del área de influencia del proyecto.

La disponibilidad de agua en la laguna es mayor que el caudal ambiental de Rango óptimo (60 %) en todos los meses a excepción de octubre, aunque es mayor al caudal ambiental Sobresaliente (40 %).

- Con respecto a la hipótesis sobre el método Tennant, que manifiesta que la estimación del caudal ecológico permite conocer si habrá un impacto significativo en la biodiversidad y recursos naturales por la reducción del volumen de agua en la laguna, esto puede ocurrir si los volúmenes a conservar en la laguna son menores al 10 % del caudal ambiental que recomienda Tennant. Por esta razón, es necesario acordar y conservar un volumen ecológico para preservar la biodiversidad.

Las limitaciones que se encontraron al aplicar el método Batelle Columbus son: algunos criterios en desuso como el de Jackson para determinar la turbidez, carece de criterios para definir el área de influencia de un proyecto y las categorías de riesgo que contempla son diferentes a las de la NOM-059-SEMARNAT-2001, requiere de grados de equivalencia.

La restricción del método Tennant consiste en que el análisis los escurrimientos medios tiene un margen de error del 50 %, por lo que se puede sobreestimar los caudales ambientales.

La realización de este proyecto permitirá minimizar el tiempo de inundación en terrenos agrícolas del DR-08 y poblaciones, beneficiará a 1 572 ejidatarios y 1450 pequeños propietarios y mantendrá la producción que se evalúa en casi 129 millones de pesos.

Es necesario implementar un Reglamento de Operación del túnel por parte de la CONAGUA, donde se establezca desfogar sólo el excedente del caudal ambiental de Rango óptimo (60 %) preferentemente, para mantener la biodiversidad de la RBBM, la función de la laguna como humedal, recarga de acuífero y estabilizador de las condiciones climáticas del lugar, que a su vez conservan la salud del hábitat y la riqueza biológica y genética de la RBBM.

En todo caso, se deberá planear los volúmenes a conservar en la laguna o bien, del área de la laguna con agua que quedará después de desfogar los excedentes que provocan inundación. Para ello, es necesario el consenso entre la población de las localidades que se inundan, productores del DR-08, CONAGUA y la RBBM. Se puede fijar el volumen que la laguna ha almacenado históricamente en las 581.3 ha. Una vez que se llegue a un acuerdo sobre el volumen y área de la laguna, se debe oficializar en el Reglamento de operación, para que el túnel pueda operar.



## **Recomendaciones**

Debido a que la zona del proyecto de inserta en un ANP, se propone la adopción de medidas para evitar y mitigar impactos, tales como:

- Las especies de flora y fauna que se encuentran en estatus crítico según la NOM-059-SEMARNAT-2001 se deben manejar mediante Programas de rescate, conservación y reintroducción.
- Se debe establecer un Reglamento laboral, donde se prohíba a los trabajadores extraer ejemplares de flora y fauna de la RBBM, así como de verter residuos al aire libre.
- Debido a la cantidad de residuos que se generarán por la obra, se debe implementar un Programa de manejo de residuos de la construcción así como de los que se generen en los campamentos.
- La CONAGUA debe realizar un Reglamento de Operación del túnel, donde se comprometa a desfogar sólo los volúmenes de agua excedentes al caudal ambiental de Rango óptimo que señala el método Tennant.
- El monitoreo del buen funcionamiento de la obra y su Reglamento de Operación por parte de PROFEPA y su inspección a Programas de rescate, conservación y reintroducción de especies, de Manejo de residuos y Reglamento Laboral.
- Promover estudios para medir la capacidad de amortiguamiento de la laguna y evaluar la posibilidad de eliminar el azolve, lo que aumentará su capacidad de amortiguamiento y mitigará las inundaciones.
- Implementar obras de conservación de suelo y vegetación, en la parte alta de la cuenca que ayudarán a controlar la erosión y reducir el azolve en la laguna.

**REFERENCIAS:**

- Álvarez, T. y F. de Lachica. (1991), Zoogeografía de los vertebrados de México, México.
- Alves M., H. and A. Henriques G. 1994. O caudal ecológico como medida de minimização dos impactes nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. In: Actas do 6º SILUSB/1º SILUSBA, Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. 11-14 abril. Lisboa, Portugal. Pp: 177-190.
- Amado A. J.P. (2006). Estudio integral de la calidad del agua en el marco de la ordenación de los recursos hídricos en la cuenca del río Amajac. COLPOS. Estado de México, México. 143 p.
- APHA (American Public Health Association). 1995. Métodos normalizados: para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos. España. 1830 p. Disponible en:  
<http://site.ebrary.com/lib/bibliocolpossp/Doc?id=10272274&ppg=22>
- Antunes P., R. Santos, L. Jordao, P. Alves and N. Videira. 1996. A GIS - Based decision support system for Environmental Impact Assessment. Proc IAIA'96 Conf, Estoril, Portugal, 1996. Pp: 451- 456.
- Arizmendi, M. C. y L. Valdelamar (Eds). 1999. Áreas de Importancia para la conservación de las Aves en México. CIPAMEX. México, D.F. 440 p.
- Arribas P., y C. Rodríguez. 2004. Estudios de evaluación de impacto ambiental. Situación actual. Universidad de Huelva, España 123 p.
- Arthington A, H., R. Tharme, S. O. Brizga, B. J. Pusey and M. J. Kennard. 2004. Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies. In: Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries Volume II. Welcome R.

- 
- and T Petr, Eds., FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. RAP Publication 2004/17: pp37-65.
- Benavides G, L. (1969). Notas de Geología Petrolera de México. Simposio sobre yacimientos de petróleo y gas; Tomo III, América del Norte; XX Congreso Internacional.
- Bó F. R y A. I. Malvárez. 1999. Las inundaciones y la Biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre. Pp 151-162. En: I. Malvárez (Ed.) Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe – ORCYT, Montevideo, Uruguay. Disponible en:  
[http://www.ege.fcen.uba.ar/gieh/PDF\\_MIOS/Rober\\_mab.pdf](http://www.ege.fcen.uba.ar/gieh/PDF_MIOS/Rober_mab.pdf)
- Brañez R, 2000. Manual de Derecho Ambiental Mexicano. 2ª Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 770 p.
- Bruhn T. and M. Eklund. 2002. Environmental impact assessment a tool for sustainable development? A case study of biofuelled energy plants in Sweden. Environmental Impact Assessment Review. 22:129-144.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2004. Ley de Aguas Nacionales. Publicado en el DOF el 1 de diciembre de 2004 y reformada el 29 de abril de 2004.
- Castro C., H. J. y P. J. Romo. 1997. Los mamíferos de la porción Norte de la vega de Metztitlán, Hidalgo, Usos y perspectivas, Tesis de Licenciatura en Biología, ENEP Iztacala, UNAM, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2008. Plan de Riegos 2008-2009. Distrito de Riego 008 Metztitlán, Hidalgo. México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2004. Estudio de aprovechamiento hidráulico integral y control de inundaciones de los ríos de Tulancingo.

- 
- Modelo de la vega y laguna de Metztlán. Gerencia regional golfo norte. Hidalgo, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). Análisis integral del río Amajac para definir la problemática que podría presentar aguas debajo de la confluencia con el río Almolón, una vez construido el túnel en la Vega de Metztlán, establecer las características de funcionalidad del río Amajac después de la confluencia del río Almolón para evitar daños en los terrenos agrícolas y unidad de riego ubicadas en las Vegas, Estado de Hidalgo [CD-ROOM]. México, DF. Proyecto de consultoría. 2003. Fecha de revisión: enero-noviembre 2009.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998<sub>a</sub>. Programa Estatal Hidráulico 1996-2020 (Cuadros Básicos). Hidalgo, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 1998<sub>b</sub>. Programa Estatal Hidráulico 1996-2020 (Texto). Hidalgo, México. 198 p.
- CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad). Procesos ecológicos en el paisaje. [En línea]. México, D. F. CONABIO. 2009. Fecha de revisión y cita: marzo 2010. Disponible en:  
  
[www.biodiversidad.gob.mx/region/procesosec.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/procesosec.html)
- Conesa F, V. 2003. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3a edición. Mundi-Prensa. España. 412 p.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. Ley Federal de la Protección al Ambiente. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1982. México.
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. XLVIII Legislatura. Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de marzo de 1971. México. Pp: 12-17.

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, México. [En línea]. México, D.F. CONANP. 2003. Fecha de revisión y cita: marzo-junio 2009. Disponible en:  
[http://www.metztitlan.com.mx/\\_ReservaBiosfera/ProgramaManejoRBM.pdf](http://www.metztitlan.com.mx/_ReservaBiosfera/ProgramaManejoRBM.pdf)
- Dyson M., Bergkamp, G., Scanlon, J., (Eds) 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. UICN-ORMA. San José, Costa Rica. 125 p.
- Espinoza G. y V. Alzina (Ed). 2001. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo- Centro de Estudios para el Desarrollo. Santiago, Chile. 183 p.
- Estevan B, M. 1984. Evaluación del impacto ambiental. España.
- Gannon, M. R and M. R. Willing. 1994. The effects of hurricane Hugo on bats of the Luquillo experimental forest of Puerto Rico. *Biotropica* 26: 320 - 331.
- García E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Offset Larios; México, D. F., Pp. 1-6 y 117-130.
- Gobierno del Estado de Hidalgo. Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo. Reporte Institucional del Estado de Hidalgo. [CD-ROOM]. Estado de Hidalgo, México. Gobierno del Estado de Hidalgo. 2001. Fecha de revisión y cita: marzo 2009.
- Gordon, N. D., T. A. McMahon, B. L. Finlayson, Ch. J. Gippel and R. J. Nathan. 2004. Stream hydrology: an introduction for ecologists. Second edition. Jhon Wiley & Sons. Chichester, England. 444 p.
- Gutiérrez C, A. 2004. Presencia de *Bothriocephalus acheilognathi* Yamaguti, 1934 (Gestoidea Bpthriocephalidae) en la ictiofauna del Río Metztitlán,

- 
- Hgo. México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Huber, P. J. 2005. Robust estimation of a location parameter, *Annals Mathematical Statistics*, 35, 73-101.
- Ibañez A. L., J. L. García-Calderón y R. Torres-Orozco B. 2008. Aspectos reproductivos de una población de charal *Menidia jordani* (Woolman) del lago de Metztitlán, Hidalgo. *Hidrobiológica*. 18:1. 1-9.
- INE (Instituto Nacional de Ecología) – SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca). 2000. La evaluación del impacto ambiental. Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México DF, 160 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. Censo de Población y Vivienda. Hidalgo. México. Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1988. Carta topográfica F14D61. México.
- Jones K., K. Barlow, N. Vaughan, A. Rodríguez-Durán and M. Gannon. 2001. Shortterm impacts of extreme environmental disturbance on the bats of Puerto Rico. *Animal Conservation* 4: 59–66.
- Jowett I.G. 1997. In-stream Flow Methods: A Comparison of Approaches Regulated Rivers: Research and Management. 13(2) 115-128.
- Juárez-Castillo. L. G. 2006. Comparación del ensamblaje de murciélagos de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán, Hgo, México con otras regiones áridas de Norte América. Tesis de Licenciatura. Pachuca, Hgo. 93 p.
- King, J.M., R Tharme, R, and C. Brown. 1999. Contributing paper: definition and implementation of stream flows southern water. Prepared for

- 
- Thematic Review II.I: Dam, ecosystem functions and environmental restoration. Disponible en [www.dams.org/](http://www.dams.org/)
- López-Pujol, J. 2008. Impactos sobre la biodiversidad del embalse de las Tres Gargantas en China. *Ecosistemas* 17 (1): 134 - 145. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=517>
- Malvárez A. I., M. Boivin y A. Rosato. 1998. Biodiversidad, uso de los recursos naturales y cambios en las islas del Delta Medio del Río Paraná. Dto. Victoria, Provincia de Entre Ríos, Argentina. En: *Estilos de desarrollo y conservación de la biodiversidad en América Latina y el Caribe*. J. Morello, O. Solbrig y S. Matteucci (Eds.) (En prensa).
- Martínez-García V. 2006. Interacciones Colibríe - Planta en tres tipos de vegetación de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán, Hgo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Estado de Hidalgo. Hidalgo.
- Martínez-Morales, M. A., R. Ortiz-Pulido, B. de la Barrera, I. L. Zuria, J. Bravo Cadena y J. Valencia-Herverth. 2007. HIDALGO. *In Avifaunas Estatales de México*, R. Ortiz-Pulido, A. Navarro-Sigüenza, H. Gómez de Silva, O. Rojas-Soto y T. A. Peterson (Eds.). CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. p. 49- 95.
- Montero A, S. 2008. Caracterización integral de lagunas del Estado de Hidalgo. COLPOS. Estado de México, México. 157 p.
- Moore, M. 2004. Perceptions and interpretations of environmental flows and implications for future water resource management – A survey study. Masters Thesis. Department of Water and Environmental Studies, Linköping University. Sweden. 67 p.
- Navarro-Sigüenza, A.G. y A.T. Peterson. 2004. An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotrópica* 4:1-32.

- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada del 3 al 14 de junio en Brasil, 1992. Reafirmando la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Humano, aprobada en Estocolmo el 16 de junio de 1972.
- Oporto P. S., M. M. G. Hidalgo y G. J. Bello. Efecto de un periodo de inundación sobre la abundancia de seis especies de phyllostomidos en Villahermosa Tabasco. [En línea]. Semana de Divulgación y Video Científico 2008. Fecha de revisión y cita: marzo 2010. Disponible en: <http://www.archivos.ujat.mx/dip/divulgacion%20y%20video%20cinetifico%202008/DACBIOL/SOportoP.pdf>
- Ortiz-Pulido, R., J. Bravo, V. Martínez y D. Reyes. Avifauna de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. En proceso de publicación. [Correo electrónico]. Fecha de revisión y cita: noviembre 2009. Disponible en Dirección de la Reserva de la Biósfera de Metztitlán.
- Peterson, R. T. y E. L. Chalif. 1989. Aves de México. Editorial Diana. México, D.F., México. 473 p.
- Pickett, S. T. A. y P. S. White. 1985. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. Academic Press, EE.UU. 472 p.
- Portilla O. E., A. I. Sánchez H. y D. Hernández M. 2005. Impacto de huracanes en la biodiversidad del estado de Veracruz. Área de conservación biológica, Instituto de Investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 101-119.
- Ramsar Sites Information Service. [En línea]. Lugar de publicación desconocido. Fecha de actualización: Mayo 2007. Fecha de cita: junio 2009. Disponible en: [www.ramsar.org/sitelist.doc](http://www.ramsar.org/sitelist.doc).



- 
- Rau J. and D. Wooten. 1980. Environmental Impact Analysis Handbook. Mc Graw-Hill. E.U.
- Reid D. 1995. Sustainable development. An introductory guide. Earthscan Publications London, UK.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun D.P. 1996. A Method for Assessing Hydrological Alteration within Ecosystems in Conservation Biology 10(4). pp 1163-1174.
- Riquier, J., Bramaio, L. and Cornet, S.P. 1970. A new system or soil appraisal in terms of actual and potential productivity: FAO Soil Resources No 38. Rome. Italy.
- Rodionov, S. N. 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. Geophys Res. Lett., 31, L09204, doi 10.1029/2004 GL019940. Disponible en: [www.beringclimate.noaa.gov/regimes](http://www.beringclimate.noaa.gov/regimes)
- Rzedowski, J. 1965. Vegetación del estado de San Luis Potosí, Acta Científica Potosína, 5 (1-2): 5- 291, México.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México.
- Sánchez S., R. y Montesillo C. J. L. Instrumentos económicos y de regulación para la gestión de los recursos hídricos. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XVII. Núm. 2 (abril-junio). 2002. Pp. 95-115.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos) - COLPOS (Colegio de Postgraduados) 1991. Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión. Colegio de Postgraduados. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. Texcoco, Estado de México. México 150 p.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [En línea]. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988 y

---

reformada el 16 de mayo de 2008. México. SEMARNAP. 2008. Fecha de revisión y cita: 11 febrero 2009. Disponible en:  
<http://www.semarnat/leyesvigentes>

SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. [En línea]. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de mayo de 2000. México. SEMARNAP. 2000. Fecha de revisión y cita: febrero 2009. Disponible en <http://www.semarnat/leyesvigentes>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales). 2009. Disponible en:  
[www.semarnat.gob.mx/gestiónambiental/calidaddelaire/pages/retc.asp](http://www.semarnat.gob.mx/gestiónambiental/calidaddelaire/pages/retc.asp)

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Guía para la presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental Hidráulico. [En línea]. México. SEMARNAT. 2002. Fecha de revisión y cita: febrero 2009. Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). NOM-059-SEMARNAT-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. [En línea]. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002. México. SEMARNAT. 2002. Fecha de revisión y cita: 17 marzo 2009. Disponible en <http://www.semarnat.leyes.normasvigentes>

SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1992<sub>a</sub>. Síntesis geográfica del estado de Hidalgo, SPP, INEGI, Aguascalientes, México.

SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1992<sub>b</sub>. Carta estatal. Climas, Estado de Hidalgo, Esc. 1:500 000, SPP, INEGI, Aguascalientes, México.

- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1992c. Carta estatal, Suelos, Estado de Hidalgo, Esc. 1:500 000, SPP, INEGI, Aguascalientes, México.
- Suter, M. 2004. A neotectonic–geomorphologic investigation of the prehistoric rock avalanche damming Laguna de Metztitlán, (Hidalgo State, east-central Mexico). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 21: 398-399.
- Tennant, D.L. In-stream Flow Regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *American Fisheries Society*. Vol. I. Núm. 4 (Julio). 1976. pp 6-10. Disponible en:  
[http://afsjournals.org/doi/abs/10.1577/15488446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0CO;2](http://afsjournals.org/doi/abs/10.1577/15488446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0CO;2)
- Tharme R.E. (2003). A Global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19:397-441.
- Tinoco R. J. A., A. I. Monterroso R. y J. D. Gómez D. Cambio Climático y vegetación en la Reserva de la Biósfera “Barranca de Metztitlán”, Hidalgo. [CD-ROOM]. Hidalgo, México. IV Foro de Investigadores por la Conservación y II Simposio de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Hidalgo. 2006. Fecha de revisión y cita: 25 noviembre 2009.
- Valencia-Herverth, J., F. Valencia-Herverth y F. Mendoza-Quijano. 2009. *Corvus imparatus*, primer registro para Hidalgo, México. *Huitzil* 10:15-18.
- Valencia-Herverth, J., F. Valencia-Herverth y F. Mendoza-Quijano. 2008. Registros adicionales de aves para Hidalgo, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 24:115-123.

- Wathern P. 1988. An introductory guide to EIA. In: Wathern P, editor. Environmental Impact Assessment—Theory and Practice. London, UK: Unwin Hyman. Pp: 3 – 30.
- Zamudio R.; J. Rzedowski; G. Carranza; G. Calderón de Rzedowski. 1992. La vegetación del estado de Querétaro, Instituto de Ecología, Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Zárate R, V. 2003. Evaluación de la Bioiversidad de Helmintos en los peces de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán, Hgo. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Quintana Roo, Mexico.
- Zarzal, 2005-2007. Corporativo Empresarial. Disponible en:  
[www.metztitlan.com.mx](http://www.metztitlan.com.mx)
- Zhang J., Z. F. Zhang, S. M. Liu, Y. Wu, H. Xiong y H.T. Chen. 1999. Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang ( Yangtze River ) be an illustration?. Global Biogeochemical Cycles. 13:01.134-145.

## ANEXO A. LISTADO FLORÍSTICO

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Adiantaceae	<i>Cheilanthes</i>	<i>aff. farinosa</i>		
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i>	<i>lepidophylla</i>	doradilla	
	<i>Selaginella</i>	<i>sp.</i>	flor de piedra	
Acanthaceae	<i>Carlowrightia</i>	<i>lindeniana</i>		
	<i>Jacobinia</i>	<i>aff. mexicana</i>		
	<i>Ruellia</i>	<i>aff. californica</i>		
	<i>Ruellia</i>	<i>aff. pringlei</i>		
	<i>Tetramerium</i>	<i>hispidum</i>		
Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i>	<i>repens</i>		
Apocynaceae	<i>Plumeria</i>	<i>rubra acutifolia</i>		
Asteraceae	<i>Brickellia</i>	<i>veronicaefolia</i>		
	<i>Coreopsis</i>	<i>mutica</i>		
	<i>Eclipta</i>	<i>alba</i>		
	<i>Eupatorium</i>	<i>espinosarum</i>		
	<i>Eupatorium</i>	<i>scorodonioides</i>	limpia tunas	
	<i>Gochnatia</i>	<i>hypoleuca</i>		
	<i>Helenium</i>	<i>elegans</i>		
	<i>Montanoa</i>	<i>tomentosa xanthiifolia</i>		
	<i>Stevia</i>	<i>tomentosa</i>		
	<i>Tagetes</i>	<i>tenuifolia</i>		
	<i>Trixis</i>	<i>inula</i>	falsa árnica	
	<i>Zaluzania</i>	<i>augusta</i>	limpia	
	<i>Zexmenia</i>	<i>lantaniifolia</i>		
	<i>Zinnia</i>	<i>peruviana</i>		
Burseraceae	<i>Bursera</i>	<i>morelensis</i>	chaca	
Cactacea	<i>Bursera</i>	<i>schaffneri</i>		
	<i>Astrophytum</i>	<i>ornatum</i> †	liendrilla	Amenazada
	<i>Aporocactus</i>	<i>flagelliformis</i>	floricuerno	Protección especial
	<i>Coryphantha</i>	<i>sulcolanata</i>		
	<i>Coryphantha</i>	<i>pycnacantha</i>		
	<i>Coryphantha</i>	<i>cornifera</i>		
	<i>Coryphantha</i>	<i>octacantha</i>		
	<i>Coryphantha</i>	<i>ottonis</i>		
	<i>Coryphantha</i>	<i>radians</i>		
	<i>Cephalocereus</i>	<i>senilis</i> †	viejito	Amenazada
	<i>Echinocereus</i>	<i>pentaluphus</i>	tuna de mayo	
	<i>Echinocereus</i>	<i>cinerascens cinerascens</i>		
	<i>Echicactus</i>	<i>platyacanthus</i>	biznaga gigante	Protección especial
	<i>Ferocactus</i>	<i>latispinis</i>	uña de gato	

† Especies endémicas de México

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Cactacea	<i>Ferocactus</i>	<i>glaucescens</i>		
	<i>Ferocactus</i>	<i>histris</i>	Biznaga de acitrón	Protección especial
	<i>Ferocactus</i>	<i>echidne</i>		
	<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>	pitahaya	
	<i>Lemaireocereus</i>	<i>dumortieri</i>		
	<i>Lophophora</i>	<i>diffusa</i> †	peyote	Amenazada
	<i>Mammillaria</i>	<i>echinaria</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>crinita wildii</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>polythele obconella</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>polythele polythele</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>chiedeana</i> †		Amenazada
	<i>Mammillaria</i>	<i>schiedeana dumetorum</i> †		Protección especial
	<i>Mammillaria</i>	<i>sempervivi</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>geminispina</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>wiesingeri</i> †		Protección especial
	<i>Mammillaria</i>	<i>elongata var. echinaria</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>gracilis var. fragilis</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>humboldtii</i> †	biznaga bola nieve	Amenazada
	<i>Mammillaria</i>	<i>magnimamma</i>	biznaga chilitos	
	<i>Mammillaria</i>	<i>mystax</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>pringlei</i> †		Protección especial
	<i>Mammillaria</i>	<i>rhodantha</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>rhodantha var. rhodantha</i>		
	<i>Mammillaria</i>	<i>longimamma</i> †		Amenazada
	<i>Mammillaria</i>	<i>uncinata</i>		
	<i>Myrtillocactus</i>	<i>geometrizzans</i>		
	<i>Neobuxbaumia</i>	<i>polylopha</i>	garambullo	
	<i>Neolloydia</i>	<i>horripilia</i>		
	<i>Nopalea</i>	<i>karwinskiana</i>	nopalillo	
	<i>Nyctocereus</i>	<i>serpentinus var. serpentinus</i>		
	<i>Nyctocereus</i>	<i>serpentinus</i>	junco	
	<i>Opuntia</i>	<i>imbricata</i>	nopal coyotillo	
	<i>Opuntia</i>	<i>rosea</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>velutina</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>leucotrichia</i>	duraznillo	
	<i>Opuntia</i>	<i>leptocaulis</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>lindheimeri</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>lindheimeri var. cuija</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>ficus-indica</i>	nopal de castilla	
	<i>Opuntia</i>	<i>megacantha</i>	tuna de alfajayuca	
	<i>Opuntia</i>	<i>xpallida</i>		
	<i>Opuntia</i>	<i>rastrera</i>	cuija	
<i>Opuntia</i>	<i>stenopetala</i>	huilancha		
<i>Opuntia</i>	<i>stenopetala var. stenopetala</i>			
<i>Opuntia</i>	<i>tomentosa var. hernandezii</i>			
<i>Opuntia</i>	<i>aff. tomentosa</i>			
<i>Opuntia</i>	<i>tunicata</i>	clavelina		
<i>Pachycereus</i>	<i>marginatus</i>	jarritos		
<i>Stenocactus</i>	<i>pulchellus var. amoenus</i>	pitaya		
<i>Stenocactus</i>	<i>dichroacanthus</i>			
<i>Stenocactus</i>	<i>lamellosus</i>			

† Especies endémicas de México.

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Cactacea	<i>Stenocactus</i>	<i>anfractuusus</i>		
	<i>Stenocactus</i>	<i>phyllacanthus</i>		
	<i>Stenocactus</i>	<i>multicostatus</i>		
	<i>Stenocereus</i>	<i>dumortieri</i>		
	<i>Selenicereus</i>	<i>spinolosus</i>		
	<i>Turbinocarpus</i>	<i>horripilus</i>		
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i>	<i>purpurea</i>	campanilla	
	<i>Ipomoea</i>	<i>sp.</i>		
Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>aff. ebracteatum</i>		
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus</i>	<i>rostratus glabratus</i>		
	<i>Croton</i>	<i>ciliato-glanduliferus</i>	chaya	
	<i>Croton</i>	<i>aff. microphyllus</i>	palillo	
	<i>Croton</i>	<i>cortesianus</i>	encinillo	
	<i>Croton</i>	<i>suaveolens</i>		
	<i>Euphorbia</i>	<i>campestris</i>	hierba del coyote	
	<i>Euphorbia</i>	<i>aff. mendezii</i>		
	<i>Euphorbia</i>	<i>graminea</i>		
	<i>Euphorbia</i>	<i>heterophylla</i>		
	<i>Euphorbia</i>	<i>antisiphylitica</i>		
	<i>Jatropha</i>	<i>spathulata</i>	gualulo	
	<i>Sebastiana</i>	<i>pavoniana</i>	palo lechero	
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>laeta</i>	encino prieto	
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria</i>	<i>splendens</i>		
Labiatae	<i>Salvia</i>	<i>melissodora</i>		
	<i>Salvia</i>	<i>coccinea</i>		
	<i>Salvia</i>	<i>microphylla</i>	salvia del monte	
	<i>Salvia</i>	<i>aff. serpyllifolia</i>		
	<i>Salvia</i>	<i>sp.</i>		
Leguminosae	<i>Acacia</i>	<i>sp.</i>	huaxillo	
	<i>Acacia</i>	<i>subangulata</i>		
	<i>Acacia</i>	<i>parviflora</i>		
	<i>Acacia</i>	<i>farnesiana</i>		
	<i>Astragalus</i>	<i>strigulosus</i>		
	<i>Caesalpinia</i>	<i>pringlei</i>		
	<i>Calliandra</i>	<i>eriophylla</i>		
	<i>Dalea</i>	<i>bicolor</i>		
	<i>Dalea</i>	<i>aenigma</i>		
	<i>Dalea</i>	<i>aff. lutea</i>		
	<i>Dalea</i>	<i>orbiculare</i>	engorda cabra	
	<i>Erythrina</i>	<i>mexicana</i>		
	<i>Erythrina</i>	<i>sp.</i>	pemuchil	
	<i>Eysenhardtia</i>	<i>polystachya</i>		
	<i>Harpalyce</i>	<i>arborescens</i>		
	<i>Hoffmanseggia</i>	<i>melanosticta</i>		

<sup>1</sup> Especies endémicas de México.

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Leguminosae	<i>Mimosa</i>	<i>biuncifera</i>		
	<i>Senna</i>	<i>polyantha</i>		
	<i>Senna</i>	<i>pringlei</i>		
	<i>Sophora</i>	<i>secundiflora</i>	patol	
	<i>Vigna</i>	<i>aff. luteola</i>		
Loranthaceae	<i>Phoradendron</i>	<i>brachystachyum</i>		
Malvaceae	<i>Hibiscus</i>	<i>sp.</i>		
Mimosaceae	<i>Pithecellobium</i>	<i>brevifolium</i>	palo de tenaza	
	<i>Prosopis</i>	<i>juliflora</i>	mezquite	
Nyctaginaceae	<i>Oxybaphus</i>	<i>comatus</i>		
	<i>Oxybaphus</i>	<i>viscosus</i>		
Onagraceae	<i>Ludwigia</i>	<i>octovalvis</i>		
	<i>Plumbago</i>	<i>pulchella</i>		
Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>oleracea</i>		
Polemoniaceae	<i>Loeselia</i>	<i>caerulea</i>		
	<i>Loeselia</i>	<i>mexicana</i>	bizcolote	
Polygonaceae	<i>Polygonum</i>	<i>acre</i>		
	<i>Polygonum</i>	<i>lapatifolium</i>		
Rhamnaceae	<i>Colubrina</i>	<i>elliptica</i>		
	<i>Colubrina</i>	<i>humboldtiana</i>		
	<i>Condalia</i>	<i>mexicana</i>		
	<i>Karwinskia</i>	<i>humboldtiana</i>		
Rubiaceae	<i>Randia</i>	<i>capitata</i>		
	<i>Randia</i>	<i>hidalgensis</i>		
Rutaceae	<i>Helietta</i>	<i>parvifolia</i>		
Solanaceae	<i>Datura</i>	<i>stramonium</i>		
Turneraceae	<i>Turnera</i>	<i>diffusa</i>		
Ulmaceae	<i>Celtis</i>	<i>pallida</i>		
Verbenaceae	<i>Lippia</i>	<i>graveolens</i>		
	<i>Phyla</i>	<i>nodiflora</i>		
	<i>Stachytarpheta</i>	<i>velutina</i>		
Liliaceae	<i>Aloe</i>	<i>vera</i>	sábila	
	<i>Dasylirion</i>	<i>lucidum</i>		

\* Especies endémicas de México.



<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Agavaceae	<i>Agave</i>	<i>filifera</i>	mamey	
	<i>Agave</i>	<i>macroacantha</i>	espadilla	
	<i>Agave</i>	<i>salmiana</i>		
	<i>Agave</i>	<i>grandidentata</i>		
	<i>Agave</i>	<i>xylonacantha</i>		
	<i>Agave</i>	<i>sp</i>		
	<i>Agave</i>	<i>hidalguensis</i>		
	<i>Agave</i>	<i>striata</i>		
	<i>Agave</i>	<i>lecheguilla</i>		
	<i>Agave</i>	<i>difformis</i>		
	<i>Yucca</i>	<i>filifera</i>		
Bromeliaceae	<i>Hechtia</i>	<i>podantha</i>		
	<i>Tradescantia</i>	<i>sp.</i>		
	<i>Pitcairnia</i>	<i>karwinskyana</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>ehrenbergiana</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>benthamiana</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>bourgaei</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>fasciculata</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>usneoides</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>albida</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>mauryana</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>juncea</i>		
	<i>Tillandsia</i>	<i>recurvata</i>		
Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>hermaphroditus</i>		
	<i>Cyperus</i>	<i>rotundus</i>		
Poaceae	<i>Erioneuron</i>	<i>avenceum</i>		
	<i>Muhlenbergia</i>	<i>aff. emersleyi</i>	zacate	
	<i>Echinochloa</i>	<i>colona</i>		
	<i>Setaria</i>	<i>grisebachii</i>		
Juglandaceae	<i>Carya</i>	<i>illioensis</i>	nogal	
Salicaceae	<i>Salix</i>	<i>humboldtiana</i>	sauce	

\* Especies endémicas de México.

La elaboración de este listado florístico se basa en el Programa del Plan de Manejo de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán, 2003 y en la NOM-059-SEMARNAT-2001.

## ANEXO B. LISTADO FAUNÍSTICO

<b>CLASE AMPHIBIA</b>				
<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
ORDEN(SALIENTIA) ANURA				
Ranidae				
	<i>Rana</i>	<i>spectabilis</i> <sup>f</sup>	rana	
Pelobatidae				
	<i>Spea</i>	<i>hammondi multiplicata</i>		
Bufonidae				
	<i>Bufo</i>	<i>valliceps</i>		
Leptodactylidae				
	<i>Hylactophryne</i>	<i>augusti augusti</i>		

<sup>f</sup>Especie endémica de México.

<b>CLASE AVES</b>				
<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
ORDEN PODICIPEDIFORMES				
Podicipedidae				
	<i>Aechmophorus</i>	<i>occidentalis</i>	Zambullidor	
	<i>Podilymbus</i>	<i>podiceps</i>	Achiquiliche	
	<i>Tachybaptus</i>	<i>dominicus</i> §		Protección especial
ORDEN: GALLIFORMES				
Odontophoridae				
	<i>Callipepla</i>	<i>squamata</i> §		
ORDEN: PELECANIFORMES				
Pelecanidae				
	<i>Pelecanus</i>	<i>erythrorhynchos</i> §	Pelicano	
	<i>Pelecanus</i>	<i>occidentalis</i> §		
Phalacrocoracidae				
	<i>Phalacrocorax</i>	<i>brasilianus</i> §		
Anhingidae				
	<i>Anhinga</i>	<i>anhinga</i>	Pato de agua*	
ORDEN: CHARADRIIFORMES				
Charadriidae				
	<i>Charadrius</i>	<i>vociferus</i> §		
Recurvirostridae				
	<i>Recurvirostra</i>	<i>americana</i> §		
Scolopacidae				
	<i>Actitis</i>	<i>macularia</i> §	Playerito	
	<i>Tringa</i>	<i>melanoleuca</i> §		
	<i>Tringa</i>	<i>flavipes</i> §		
	<i>Limosa</i>	<i>haemastica</i> §		
Laridae				
	<i>Leucophaeus</i>	<i>pipixcan</i> §		
	<i>Larus</i>	<i>delawarensis</i> §		

<sup>f</sup>Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Scolopacidae				
	<i>Calidris</i>	<i>mauri</i> §		
	<i>Calidris</i>	<i>minutilla</i> §		
	<i>Calidris</i>	<i>bairdii</i> §		
	<i>Limnodromus</i>	<i>scolopaceus</i> §		
	<i>Gallinago</i>	<i>delicata</i> §		
ORDEN: CICONIFORMES				
Ardeidae				
	<i>Ardea</i>	<i>herodias</i> †	Garzón cenizo	Protección especial
	<i>Ardea</i>	<i>alba</i> §		
	<i>Bubulcus</i>	<i>ibis</i>	Garza garrapatera	
	<i>Butorides</i>	<i>striatus</i>	Garcita oscura	
	<i>Butorides</i>	<i>virescens</i> §		
	<i>Egretta</i>	<i>caerulea</i> §	Garzón	
	<i>Egretta</i>	<i>thula</i>	Garza dedo dorado	
	<i>Egretta</i>	<i>tricolor</i> §	Garzón	
	<i>Nycticorax</i>	<i>nycticorax</i> §	Garcilla	
Threskiornithidae				
	<i>Eudocimus</i>	<i>albus</i> §		
	<i>Plegadis</i>	<i>chihí</i> §		
ORDEN: FALCONIFORMES				
Cathartidae				
	<i>Coragyps</i>	<i>atratus</i>		
	<i>Cathartes</i>	<i>aura</i>	Zopilote	
ORDEN: ANSERIFORMES				
Anatidae				
	<i>Aix</i>	<i>sponsa</i>		
	<i>Anas</i>	<i>diazi</i>	Pato altiplanero*	
	<i>Anas</i>	<i>discors</i>	Ceceta aliazul*	
	<i>Anas</i>	<i>crecca</i>	Cerceta alioscura*	
	<i>Anas</i>	<i>acuta</i>	Pato golondrino*	
	<i>Anas</i>	<i>cyanoptera</i>	Cerceta aliazul café*	
	<i>Anas</i>	<i>clypeata</i>	Pato cucharón*	
	<i>Anas</i>	<i>platyrhynchos</i> §		Amenazada
	<i>Anas</i>	<i>strepera</i>		
	<i>Aythya</i>	<i>valisineria</i> §		
	<i>Aythya</i>	<i>collaris</i> §		
	<i>Oxyura</i>	<i>jamaicensis</i>	Pato rojizo*	
Accipitridae				
	<i>Accipiter</i>	<i>cooperi</i>	Gavilán de Cooper	Protección especial
	<i>Accipiter</i>	<i>striatus</i>	Gavilán pechiblanco	Protección especial
	<i>Circus</i>	<i>cyaneus</i>		
	<i>Buteo</i>	<i>nitidus</i> §	Gavilán	
	<i>Buteo</i>	<i>swainsoni</i> §	Gavilán	Protección especial
	<i>Elanus</i>	<i>leucurus</i> §		
	<i>Pandion</i>	<i>haliaetus</i> §		
Falconidae				
	<i>Caracara</i>	<i>cheriway</i> §		
	<i>Falco</i>	<i>columbarius</i>		
	<i>Falco</i>	<i>peregrinus</i> §		Protección especial
	<i>Falco</i>	<i>sparverius</i>	Llamahielos	

†Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
ORDEN: GRUIFORMES				
Rallidae				
	<i>Porzana</i>	<i>carolina</i>	Ralo barrado*	
	<i>Gallinula</i>	<i>chloropus</i>	Gallareta frentiroja*	
	<i>Fulica</i>	<i>americana</i>	Gallareta americana*	
Gruidae				
	<i>Grus</i>	<i>canadensis</i> §		Protección especial
ORDEN: CARADRIFORMES				
Scolopacidae				
	<i>Actitis</i>	<i>maculata</i>	Playerito alzacolita*	
ORDEN: COLUMBIFORMES				
Columbidae				
	<i>Columba</i>	<i>fasciata</i>		
	<i>Columba</i>	<i>livia</i> §		
	<i>Columbina</i>	<i>inca</i>		
	<i>Columbina</i>	<i>passerina</i>		
	<i>Columbina</i>	<i>talpacoti</i> §		
	<i>Leptotila</i>	<i>verreauxi</i> §		
	<i>Zenaida</i>	<i>asiatica</i>		
	<i>Zenaida</i>	<i>macroura</i>		
	<i>Columbina</i>	<i>tlapacoti</i>		
	<i>Leptotila</i>	<i>verreauxi</i>		
ORDEN: CUCULIFORMES				
Cuculidae				
	<i>Coccyzus</i>	<i>americanus</i> §		
	<i>Crotophaga</i>	<i>sulcirostris</i>		
	<i>Geococcyx</i>	<i>californianus</i>		
	<i>Piaya</i>	<i>cayana</i> §		
ORDEN: STRIGIFORMES				
Strigidae				
	<i>Asio</i>	<i>flammeus</i> §		Protección especial
	<i>Bubo</i>	<i>virginianus</i> †	tecolote cornudo	Amenazada
	<i>Glaucidium</i>	<i>brasilianum</i> §		
	<i>Micrathene</i>	<i>whitneyi</i> §		
	<i>Otus</i>	<i>flammeolus</i> §		
ORDEN: APODIFORMES				
Trochilidae				
	<i>Amazilia</i>	<i>violiceps</i> ¶		
	<i>Calothorax</i>	<i>lucifer</i> ¶		
	<i>Cynanthus</i>	<i>latirostris</i>	colibrí	
	<i>Hylocharis</i>	<i>leucotis</i>	Chuparrosas	
	<i>Eugenes</i>	<i>fulgens</i>	Chuparrosas	
	<i>Archilochus</i>	<i>colubris</i> §		
	<i>Archilochus</i>	<i>alexandri</i> §		
	<i>Heliomaster</i>	<i>longirostris</i>		
	<i>Lampornis</i>	<i>clemenciae</i> ¶		
	<i>Selasphorus</i>	<i>platycercus</i>	colibrí	
	<i>Selasphorus</i>	<i>sasin</i> §		
	<i>Stella</i>	<i>calliope</i> ¶		

† Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Apodidae	<i>Aeronautes</i>	<i>saxatalis</i>		
	<i>Cypseloides</i>	<i>niger</i> §		
ORDEN: CAPRIMULGIFORMES				
Caprimulgidae	<i>Chordeiles</i>	<i>acutipennis</i>		
ORDEN: TROGONIFORMES				
Trogonidae	<i>Trogon</i>	<i>mexicanus</i>		
ORDEN: CORACIIFORMES				
Alcedinidae	<i>Megaceryle</i>	<i>torquatus</i> §		
	<i>Megaceryle</i>	<i>alcyon</i> §		
	<i>Chloroceryle</i>	<i>americana</i> §		
ORDEN: PICIFORMES				
Alcedinidae	<i>Ceryle</i>	<i>alcyon</i>	Martin pescador*	
Picidae	<i>Melanerpes</i>	<i>formiscivorus</i>		
	<i>Melanerpes</i>	<i>aurifrons</i>		
	<i>Picoides</i>	<i>scalaris</i>		
	<i>Sphyrapicus</i>	<i>varius</i> §		
ORDEN: PASSERIFORMES				
Incertae sedis	<i>Pachyramphus</i>	<i>aglaiae</i> §		
Hirundinidae	<i>Hirundo</i>	<i>rustica</i>	Golondrina tijereta*	
	<i>Stelgidopteryx</i>	<i>serripennis</i> §		
Corvidae	<i>Corvus</i>	<i>corax</i>		
	<i>Cyanocorax</i>	<i>yncas</i> §		
Regulidae	<i>Regulus</i>	<i>calendula</i> §		
Sylviidae	<i>Polioptila</i>	<i>caerulea</i> §		
Turdidae	<i>Myadestes</i>	<i>occidentalis</i> §		Protección especial
	<i>Myadestes</i>	<i>unicolor</i> §		Amenazada
	<i>Catharus</i>	<i>guttatus</i> §		
	<i>Tardus</i>	<i>grayi</i> §	Primavera	
	<i>Tardus</i>	<i>migratorius</i> §		
Bombycillidae	<i>Bombycilla</i>	<i>cedrorum</i> §		
Ptilogonatidae	<i>Ptilogonys</i>	<i>cinereus</i> §		
	<i>Phainopepla</i>	<i>nitens</i> §		
Paridae	<i>Baeolophus</i>	<i>bicolor</i> §		
Motacillidae	<i>Anthus</i>	<i>rubescens</i> §		

†Especies endémicas de México.

§ Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

\* Migratorias

† Martínez-García, 2006 (Nuevos reportes).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Parulidae	<i>Vermivora</i>	<i>peregrina</i> §		
	<i>Vermivora</i>	<i>celata</i> §		
	<i>Vermivora</i>	<i>ruficapilla</i> §		
	<i>Parula</i>	<i>pitiayumi</i> §		
	<i>Dendroica</i>	<i>petechia</i> §		
	<i>Dendroica</i>	<i>coronata</i> §		
	<i>Dendroica</i>	<i>nigrescens</i> §		
	<i>Dendroica</i>	<i>townsendi</i> §		
	<i>Mniotilta</i>	<i>varia</i> §		
	<i>Setophaga</i>	<i>ruticilla</i> §		
	<i>Seiurus</i>	<i>motacilla</i> §		
	<i>Oporornis</i>	<i>tolmiei</i> §		Amenazada
	<i>Geothlypis</i>	<i>trichas</i> §		
	<i>Wilsonia</i>	<i>pusilla</i> §		
	<i>Myioborus</i>	<i>pictus</i> §		
	<i>Basileuterus</i>	<i>rufifrons</i> §		
	<i>Icteria</i>	<i>virens</i> §		
Troglodytidae	<i>Campylorhynchus</i>	<i>gularis</i>		
	<i>Cistothorus</i>	<i>palustris</i> §		
	<i>Salpinctes</i>	<i>obsoletus</i>		
	<i>Catherpes</i>	<i>mexicanus</i>		
	<i>Thryothorus</i>	<i>bewickii</i>		
	<i>Troglodytes</i>	<i>aedon</i>		
Sturnidae	<i>Sturnus</i>	<i>vulgaris</i> §		
Mimidae	<i>Melanotis</i>	<i>caerulescens</i> †		
	<i>Mimus</i>	<i>polyglottos</i>		
	<i>Toxostoma</i>	<i>curvirostre</i>		
	<i>Toxostoma</i>	<i>longirostre</i> §		
Thraupidae	<i>Piranga</i>	<i>flava</i>		
	<i>Piranga</i>	<i>rubra</i>		
	<i>Piranga</i>	<i>olivacea</i>		
	<i>Piranga</i>	<i>ludoviciana</i>		
	<i>Thraupis</i>	<i>abbas</i>		
Cardinalidae	<i>Cardinalis</i>	<i>cardinalis</i>	Cardenal	
	<i>Pheucticus</i>	<i>ludovicianus</i>		
	<i>Pheucticus</i>	<i>melanocephalus</i>		
	<i>Passerina</i>	<i>caerulea</i>		
	<i>Passerina</i>	<i>amoena</i>		
	<i>Passerina</i>	<i>cyanea</i>		
	<i>Passerina</i>	<i>versicolor</i>		
	<i>Passerina</i>	<i>ciris</i>		

†Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Tyrannidae	<i>Camptostoma</i>	<i>imberbe</i>		
	<i>Contopus</i>	<i>virens</i>		
	<i>Contopus</i>	<i>pertinax</i>		
	<i>Contopus</i>	<i>sordidulus</i> §		
	<i>Empidonax</i>	<i>fulvifrons</i>		
	<i>Empidonax</i>	<i>oberholseri</i> §		
	<i>Empidonax</i>	<i>virescens</i> §		
	<i>Empidonax</i>	<i>wrightii</i>		
	<i>Mitrephanes</i>	<i>phaeocercus</i>		
	<i>Sayornis</i>	<i>nigricans</i>		
	<i>Sayornis</i>	<i>phoebe</i>		
	<i>Sayornis</i>	<i>saya</i>		
	<i>Tyrannus</i>	<i>verticalis</i> §		
	<i>Mniotiltus</i>	<i>similis</i> §		
	<i>Myiarchus</i>	<i>cinerascens</i>		
	<i>Myiarchus</i>	<i>nuttingi</i>		
	<i>Myiarchus</i>	<i>tyrannulus</i>		
	<i>Myiodynastes</i>	<i>luteiventris</i> §		
	<i>Pitangus</i>	<i>sulphuratus</i>	Luis bienteveo	
	<i>Pyrocephalus</i>	<i>rubinus</i>	Chipitirrin	
<i>Tyrannus</i>	<i>vociferans</i>			
<i>Tyrannus</i>	<i>forficatus</i>			
Vireonidae	<i>Vireo</i>	<i>bellii</i>		
	<i>Vireo</i>	<i>solitarius</i>		
	<i>Vireo</i>	<i>flavifrons</i> §		
	<i>Vireo</i>	<i>gilvus</i> §		
	<i>Vireo</i>	<i>olivaceus</i> §		
Emberizidae	<i>Volatinia</i>	<i>jacarina</i> §		
	<i>Sporophila</i>	<i>torqueola</i> §		
	<i>Melospiza</i>	<i>lincolnii</i> §		
	<i>Ammodramus</i>	<i>savannarum</i> §		
	<i>Pipilo</i>	<i>fuscus</i>		
	<i>Pipilo</i>	<i>chlorurus</i> §		
	<i>Spizella</i>	<i>pallida</i> §		
	<i>Spizella</i>	<i>passerina</i>		
	<i>Chondestes</i>	<i>grammacus</i>		
	<i>Junco</i>	<i>phaeonorotus</i>		
Fringillidae	<i>Carpodacus</i>	<i>mexicanus</i>		Protección especial
	<i>Euphonia</i>	<i>affinis</i> §		
	<i>Euphonia</i>	<i>elegantissima</i> §		
	<i>Carduelis</i>	<i>psaltria</i>		
Passeridae	<i>Passer</i>	<i>domesticus</i>		
Icteridae	<i>Agelaius</i>	<i>phoeniceus</i> §		
	<i>Sturnella</i>	<i>neglecta</i> §		
	<i>Xanthocephalus</i>	<i>xanthocephalus</i> §		

†Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

Familia	Género	Especie	Nombre común	Estatus
	<i>Quiscalus</i>	<i>mexicanus</i> §		
	<i>Molothrus</i>	<i>aeneus</i> §		
	<i>Molothrus</i>	<i>ater</i> §		
	<i>Icterus</i>	<i>wagleri</i> §		
	<i>Icterus</i>	<i>cucullatus</i> §		
	<i>Icterus</i>	<i>graduacauda</i> §		
	<i>Icterus</i>	<i>galbula</i> §		
	<i>Icterus</i>	<i>parisorum</i> §		
	<i>Psarocolius</i>	<i>montezuma</i> §		

†Especies endémicas de México. \* Migratorias § Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM).

#### CLASE MAMMALIA

Familia	Género	Especie	Nombre común	Estatus
ORDEN: CHIROPTERA				
Mormoopidae				
	<i>Mormoops</i>	<i>megalophylla</i>		
	<i>Pteronotus</i>	<i>parnelli</i>	Murciélago bigutudo	
	<i>Pteronotus</i>	<i>davyi</i> §		
Phyllostomidae				
	<i>Artibeus</i>	<i>aztecus</i>		
	<i>Artibeus</i>	<i>jamaicensis</i>		
	<i>Artibeus</i>	<i>intermedius</i> §		
	<i>Artibeus</i>	<i>literatus</i> §		
	<i>Artibeus</i>	<i>toltecus</i>		
	<i>Choeronycteris</i>	<i>mexicana</i> §		
	<i>Glossophaga</i>	<i>soricina</i>		
	<i>Leptonycteris</i>	<i>nivalis</i>	Murciélago nariz larga	Amenazada
	<i>Leptonycteris</i>	<i>verbabuenae</i>		
	<i>Macrotus</i>	<i>waterhousii</i>		
	<i>Pteronotus</i>	<i>personatus</i>		
	<i>Sturnira</i>	<i>ludovici</i>		
	<i>Desmodus</i>	<i>rotundus</i>		
Vespertilionidae				
	<i>Antrozous</i>	<i>pallidus</i> §		
	<i>Corynorhinus</i>	<i>mexicanus</i> §		
	<i>Eptesicus</i>	<i>fucus miradorenis</i> §		
	<i>Idionycteris</i>	<i>phillotis</i> §		
	<i>Myotis</i>	<i>californicus</i>	Liebre cola negra	Peligro extinción
	<i>Myotis</i>	<i>velifer</i> §		
Molossidae				
	<i>Molossus</i>	<i>ater</i>		
	<i>Tadarida</i>	<i>brasiliensis</i>		
ORDEN: EDENTATA				
Dasypodidae				
	<i>Dasypus</i>	<i>novemcinctus</i>		
ORDEN: LAGOMORPHA				
Leporidae				
	<i>Lepus</i>	<i>californicus</i> †	Ardilla gris	Protección especial
	<i>Sylvilagus</i>	<i>audubonii</i>		
	<i>Sylvilagus</i>	<i>floridanus</i>		

§ Juárez-Castillo, 2006 (Nuevos reportes).



<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
ORDEN: RODENTIA				
Sciuridae				
	<i>Sciurus</i>	<i>aureogaster</i>		
	<i>Spermophilus</i>	<i>variegatus</i>		
	<i>Spermophilus</i>	<i>mexicanus mexicanus</i>	Ardilla de pedregal	
Heteromyidae				
	<i>Perognathus</i>	<i>flavus</i>		
	<i>Perognathus</i>	<i>hispidus</i>		
	<i>Dipodomis</i>	<i>phillipsii</i> †	Ratón canguro	Amenazada
Cricetidae				
	<i>Liomys</i>	<i>irroratus</i>		
	<i>Neotoma</i>	<i>albigula</i>		
	<i>Peromyscus</i>	<i>boylüi</i>		
	<i>Peromyscus</i>	<i>difficilis</i>		
	<i>Peromyscus</i>	<i>pectoralis</i>		
	<i>Peromyscus</i>	<i>truei</i>		
	<i>Reithrodontomys</i>	<i>fulvescens</i>		
ORDEN: CARNÍVORA				
Canidae				
	<i>Urocyon</i>	<i>cinereoargenteus</i>		
	<i>Canis</i>	<i>latrans</i>		
Procyonidae				
	<i>Procyon</i>	<i>lotor</i>		
	<i>Basariscus</i>	<i>astutus</i> †	Cacomixtle	Amenazada
Mustelidae				
	<i>Taxidea</i>	<i>taxus</i>	Tlalcoyote	Amenazada
	<i>Spilogale</i>	<i>gracilis</i>		
	<i>Mephitis</i>	<i>macroura</i>	Zorrillo listado	
ORDEN: ARTIODACTYLA				
Tayassuidae				
	<i>Conepatus</i>	<i>mesoleucus</i>		
	<i>Tajassu</i>	<i>tajacu</i>		

†Especies endémicas de México.

#### CLASE PECES

<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Estatus</b>
Atherinidae				
	<i>Menidia</i>	<i>jordani</i>	Charalito	
Characidae				
	<i>Astyanax</i>	<i>maxicanus</i>	Truchita	
Cichlidae				
	<i>Herichthys</i>	<i>labridens</i>	Mojarra	
	<i>Oreochromis</i>	<i>niloticus</i>	Tilapia	
Cyprinidae				
	<i>Abramis</i>	<i>brama</i>	Nopalillo	
	<i>Cyprinus</i>	<i>carpio</i>	Carpa común	
Ictaluridae				
	<i>Ictalurus</i>	<i>Mexicanus</i> † †	Bagre	Protección especial
Poeciliidae				
	<i>Poeciliopsis</i>	<i>gracilis</i>	Poista	

†Especies endémicas de México.

† Gutiérrez, 2004 (Nuevo reporte).

## CLASE REPTILIA

Familia	Género	Especie	Nombre común	Estatus
ORDEN SQUAMATA				
Suborden Lacertilia				
Iguanidae				
	<i>Phrynosoma</i>	<i>orbiculare cortezi</i>		
	<i>Sceloporus</i>	<i>jarrovi inmucronatus</i>	Lagartija	
	<i>Sceloporus</i>	<i>parvus scutulatus</i>		
	<i>Sceloporus</i>	<i>spinosus spinosus</i>	Lagartija	
	<i>Sceloporus</i>	<i>variabilis variabilis</i>	Lagartija común	
Anguidae				
	<i>Gerrhonotus</i>	<i>liocephalus infernalis</i>		
Scincidae				
	<i>Eumeces</i>	<i>linxe linxe</i>		
	<i>Scincella</i>	<i>gemmingeri</i> <sup>†</sup>	Lagartija espinosa	Protección especial
Teiidae				
	<i>Cnemidophorus</i>	<i>gularis</i>		
Xantusidae				
	<i>Lepidophyma</i>	<i>sylvaticum</i> <sup>†*</sup>	Lagartija nocturna	Protección especial
Suborden Ophidia				
Colubridae				
	<i>Drymarchon</i>	<i>corais erebenus</i>		
	<i>Ficimia</i>	<i>variegata</i>		
	<i>Leptodeira</i>	<i>septentrionalis septentrionalis</i>		
	<i>Masticophis</i>	<i>taeniatus australis</i>		
	<i>Nerodia</i>	<i>rhombifera blanchardi</i>		
	<i>Pituophis</i>	<i>deppei jani</i>		
	<i>Storeria</i>	<i>dekayi texana</i>		
	<i>Tamnophis</i>	<i>cyrtopsis collaris</i>	Culebra listonada Cuello negro	Amenazada
	<i>Tamnophis</i>	<i>cyrtopsis pulchrilatus</i>		Amenazada
	<i>Tamnophis</i>	<i>proximus rutiloris</i>	Culebra listonada occidental	Amenazada
Viperidae				
	<i>Trimorphodon</i>	<i>tau tau</i>	Culebra	
	<i>Crotalus</i>	<i>atrox</i>	Cascabel	Protección especial
	<i>Crotalus</i>	<i>molossus nigrescens</i>		

†Especies endémicas de México.

\* Gutiérrez, 2004.

La elaboración de este listado faunístico se basa en el Programa del Plan de Manejo de la Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán (2003), se complementó con reportes de Ortiz-Pulido, *et al.*, (2009, Dirección de la RBBM), Juárez-Castillo (2006), Martínez-García (2006) y Gutiérrez (2004).

### ANEXO C. MATRIZ DE IMPORTANCIA

ANEXO C : Matriz de Importancia																												
CATEGORÍAS	F A S E S D E L P R O Y E C T O																											
	Fase de preparación del sitio y construcción del túnel																											
	Camino de acceso								Construcción del túnel						Canal de llamada: Ataguías principal y secundaria													
	Intervalo 0-25	Intervalo 26 - 50	Intervalo 51 - 75.	> 75																								
$I = \frac{1}{3}(3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$ COMPONENTES																												
Limpia y despalse	Cortes en material y formación terraplén	Carga, acarreo y almacén rezaga	Revestimiento de caminos	Colocación de tubería de concreto	Construcción muros mampostería	Alcantarillas principales y de alivio	Uso de maquinaria	Suma	Excavación del túnel	Carga, acarreo y almacén rezaga	Uso de explosivos	Colocación malla electrosoldada	Suma	Inhabilitación del túnel uno	Excavación en el canal de llamada	Carga, acarreo y almacén rezaga	Compactar tepetate	Construcción filtro arena-grava	Construcción de filtro con boleos	Construir sub base con tepetate	Compactación	Colocación de pavimento asfáltico	Construcción de filtro con tubo ranurado	Zampeado con laja y mortero	Uso de maquinaria	Construcción de ataguía secundaria	Inundación de área cercana a la laguna	Suma
<b>Especies y poblaciones terrestres</b>																												
Cosechas								0					0	-34													-28	-62
Vegetación natural	-64		-36		-28	-28	-28	-209		-36			-36	-22		-36											-28	-86
<b>Acuáticas</b>																												
Pesca comercial								0					0															0
Aves acuáticas							-16	-16			-16		-16												-16			-16
<b>Hábitat y comunidades terrestres</b>																												
Índice de cadena trófica	-21		-21					-42		-21			-21			-21											-35	-56
Uso de la tierra	-35	-69	-29	-69				-202		-29			-29			-29											-31	-60
Especies raras o amenazadas	-25	-30	-28	-29			-23	-181		-28			-28			-28											-28	-56
Diversidad de especies	-25	-30	-28	-29			-23	-181		-28			-28			-28											-28	-56
<b>Acuáticas</b>																												
Índice de cadena trófica																												
Especies raras y en peligro							-19	-19		-19			-19															0
Carácter del río								0					0	-34														-34
<b>TOTAL</b>	-170	-129	-142	-127	-28	-74	-74	-106	<b>-850</b>	0	-142	-35	0	<b>-177</b>	-90	0	-142	0	0	0	0	0	0	0	-16	0	-178	<b>-426</b>
<b>Agua</b>																												
Pérdida en cuencas hidrográficas								0					0															0
Oxígeno disuelto								0					0															0
Coliformes fecales								0					0															0
Nitrógeno inorgánico								0					0															0
Fosfato inorgánico								0					0															0
pH								0					0															0
Sólidos disueltos totales								0					0															0
Turbidez								0					0															0
<b>Atmósfera</b>																												
Monóxido de carbono							-20	-20			-20		-20													-20	-20	
Oxidos de nitrógeno							-20	-20			-22	-22	-44													-20	-20	
Oxidos de azufre							-20	-20																		-20	-20	
Partículas sólidas		-19	-19	-19			-19	-76	-26	-19	-25		-70	-23	-19										-19		-61	
<b>Suelo</b>																												
Erosión	-63	-69				-34	-34	-32	-232					0														0
<b>Ruido</b>																												
Ruido	-16	-20	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-150	-26	-19	-29	-20	-94		-26	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-216
<b>TOTAL</b>	-79	-108	-38	-38	-19	-53	-53	-130	<b>-498</b>	-52	-38	-96	-42	<b>-228</b>	0	-49	-38	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-98	0	0	<b>-317</b>

Continúa..



ANEXO C : Matriz de Importancia																																
CATEGORÍAS		FASES DEL PROYECTO																														
		Fase de preparación del sitio y construcción del túnel																														
		Camino de acceso								Construcción del túnel						Canal de llamada: Ataguías principal y secundaria																
COMPONENTES		Limpia y despalme	Cortes en material y formación terraplén	Carga, acarreo y almacén rezaga	Revestimiento de caminos	Cobocación de tubería de concreto	Construcción muros mampostería	Alcantarillas principales y de alivio	Uso de maquinaria	Suma	Excavación del túnel	Carga, acarreo y almacén rezaga	Uso de explosivos	Cobocación malla electrosoldada	Suma	Inhabitación del túnel uno	Excavación en el canal de llamada	Carga, acarreo y almacén rezaga	Compactar tepetate	Construcción filtro arena-grava	Construcción de filtro con bolcos	Construir sub base con tepetate	Compactación	Cobocación de pavimento asfáltico	Construcción de filtro con tubo ranurado	Zanquear con rejilla y mortero	Uso de maquinaria	Construcción de ataguía secundaria	Inundación de área cercana a la laguna	Suma		
ESTÉTICA	<b>Suelo</b>																															
	Material geológico superficial		-65		-39					-104					0															0		
	Relieve y caracteres topográficos		-35	-25	-38					-98		-25			-25																-25	
	<b>Aire</b>																															
	Olor y visibilidad			-21						-21		-21	-29		-50				-21												-21	
	<b>Agua</b>																															
	Presencia de agua									0					0																0	
	Interfase agua-tierra									0					0																-40	-40
	Olor y materiales flotantes									0					0																	0
	Extensión de de superficie de agua									0					0																-24	-24
	Márgenes arboladas y ecológicas									0					0																	0
	<b>Biota</b>																															
	Diversidad tipos de vegetación		-28	-53	-24						-105					0				-24												-24
Variedad en tipos de vegetación		-28	-53	-29					-26	-136					0				-29												-29	
<b>Composición</b>																																
Efectos de composición		-28	-35	-30	-37					-166		-30			-30				-30												-30	
<b>TOTAL</b>		-84	-241	-129	-114	0	-36	0	-26	<b>-630</b>	0	-76	-29	0	<b>-105</b>	0	0	-129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-64	<b>-193</b>	
I. HUMANO	<b>Valores educacionales y científicos</b>																															
	Ecológico									0					0																	0
	Geológico									0					0																	0
	Hidrológico									0					0																	0
	<b>Sensaciones</b>																															
	Integración con la naturaleza									0					0																	0
	<b>Estilo vida (patrón cultural)</b>									0					0																	0
Oportunidades de empleo		25	25	25	25	25	25	25	25	200	25	25		25	75		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	276	
Interacciones sociales										0				0																	0	
<b>TOTAL</b>		25	25	25	25	25	25	25	25	<b>200</b>	25	25	0	25	75	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	<b>276</b>	
<b>TOTAL</b>		-308	-453	-284	-254	-22	-138	-102	-237	<b>-1778</b>	-27	-231	-160	-17	<b>-435</b>	-90	-24	-284	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	-89	25	-266	<b>-660</b>

Continúa..



## ANEXO D. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL MÉTODO BATELLE COLUMBUS

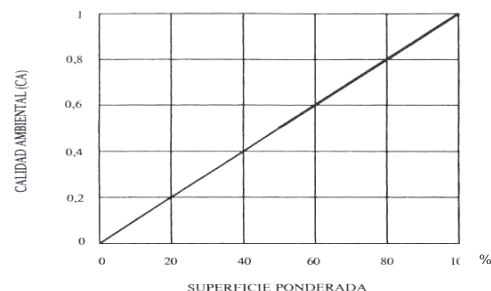
### I. Categoría Ecología

#### Especies y poblaciones terrestres: Cosechas

Indicador del factor

Suma de la superficie de cada tipo de cultivo por un índice representativo de la productividad, expresada en porcentaje de la superficie total cultivada.

Unidad de medida: %



#### Especies y poblaciones: Vegetación natural terrestre (VNT)

Indicador del factor

$$VNT = 100 \left[ \sum_1^n (S_i \cdot x K_i) \right] / S_t$$

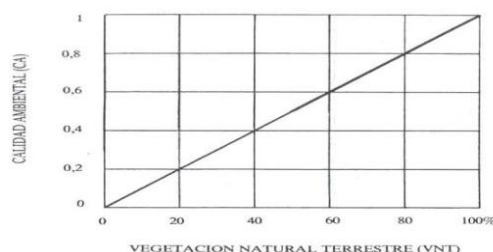
$S_i$  = ha de cada tipo de vegetación

$n$  = Tipos de vegetación

$K_i$  = Índice de productividad

$S_t$  = Superf. total de tierra no arable

Unidad de medida: %



#### Especies y poblaciones acuáticas: Pesca comercial (PC)

Indicador del factor

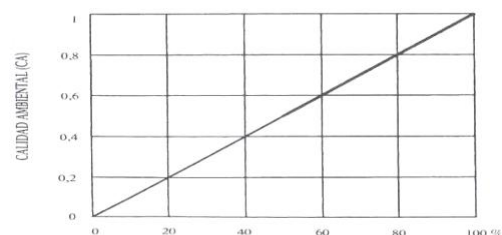
$$PC = \left[ \frac{AH * K}{MAH} \right] * 100$$

$AH$  = Área habitada

$MAH$  = Máxima área del hábitat

$K$  = Peso derivado del valor de capturas (1:1.000\$, 0.67:100\$, 0.33:10\$ y 0:1\$)

Unidad de medida: %



#### Especies y poblaciones terrestres: Vegetación natural acuática (VNA)

Indicador del factor

$$VNA = 100 \left[ \sum_1^n (S_i \cdot x K_j) \right] / S_t$$

$S_i$  = Superficie de cada clase

$n$  = Número de clases (corrientes y ríos, lagos y estanques, pantanos o marismas)

$K_j$  = Índice de calidad dependiente de las características de clase; varía entre 0 y 1.

$S_t$  = Superficie acuática total

Unidad de medida: %



**Especies y poblaciones terrestres: Aves acuáticas (AA)**

Indicador del factor

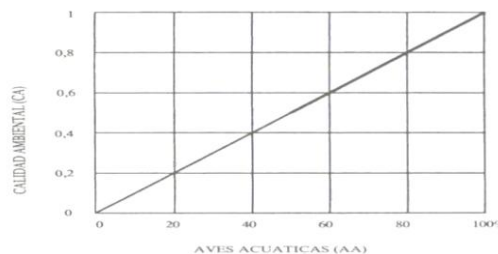
$$AA = \sum_1^n \frac{\text{Log}(D_i \times K_i)}{\text{Log}D_i} \times 100$$

D<sub>i</sub>=Densidad de especies

n=Número total de especies

K<sub>i</sub>=Modificador del hábitat de cada especie (herbívoros 0.33, omnívoros 0.67, carnívoros 1).

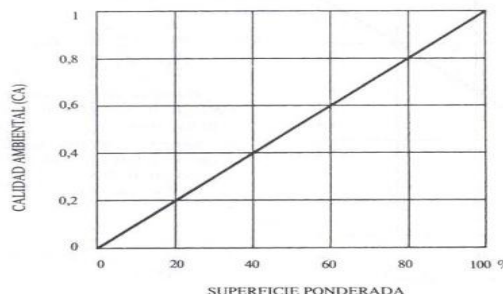
Unidad de medida:%



**Hábitats y comunidades terrestres: Uso de la tierra (UT)**

Indicador del factor  $UT = 100 \left[ \frac{\sum_1^n S_i \times P_i}{S_i} \right]$

Suma ponderada de la superficie de cada tipo de uso de suelo (natural 1; forestal 0.8; agrícola 0.6; residencias 0.4; comercial 0.2; industrial 0) expresada en % de la superficie total.



**Hábitats y comunidades terrestres: Índice de cadena trófica (ICT)**

Indicador del factor

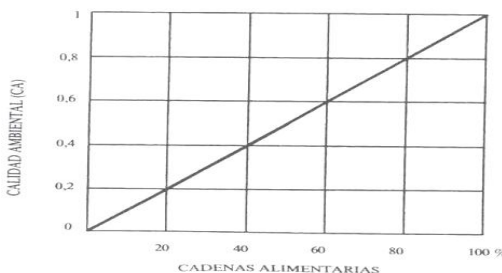
$$ICT = \left[ \frac{\sum_1^n \text{Log}(D_i \times K_i)}{\sum_1^n \text{Log}D_i} \right] * 100$$

D<sub>i</sub>=Densidad de especies

n=Número total de especies

K<sub>i</sub>=Modificador del hábitat de cada especie (herbívoros 0.33, omnívoros 0.67, carnívoros 1).

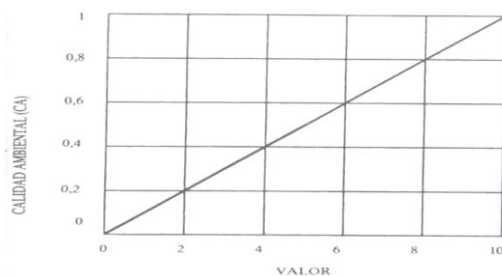
Unidad de medida:%



**Hábitats y comunidades terrestres: Especies raras o amenazadas (También acuáticas)**

Indicador del factor: Valor objetivo

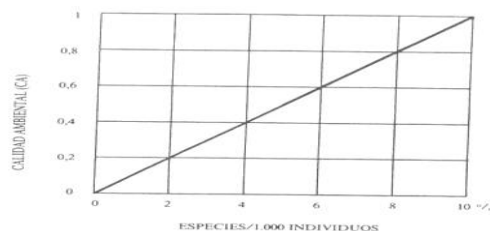
Especies	Valor
Muy común	10
Común	9
Frecuente	8
Endémica en la región	7
Endémica en el país	6
Rara en la región	5
Rara en el país	4
Tres raras en el país	3
En vías de extinción	2
Extinto	0





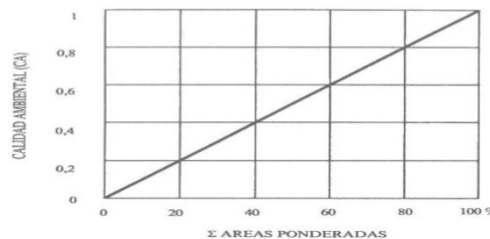
**Hábitats y comunidades terrestres: Diversidad de especies**

Indicador del factor  
 Número de especies por mil individuos  
 Unidad de medida: 10‰



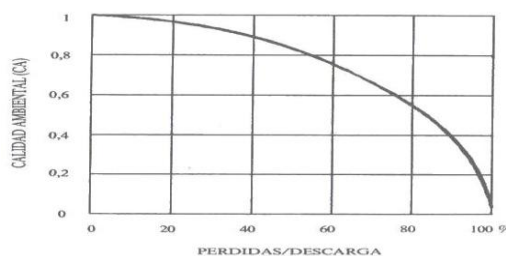
**Hábitats y comunidades acuáticas: Carácter del río**

Indicador del factor  
 Suma del área de cada tramo ponderada por un índice de calidad del tipo de corriente, y expresada en porcentaje de la superficie total.  
 Unidad de medida: %



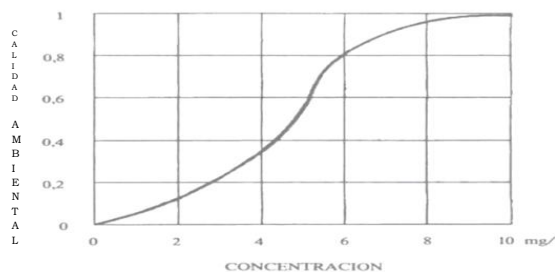
**II. Categoría Contaminación**  
**Agua: Pérdidas hidrológicas**

Indicador del factor  
 Relación: pérdidas debidas a las actividades humanas/ descarga natural.  
 Unidad de medida: %



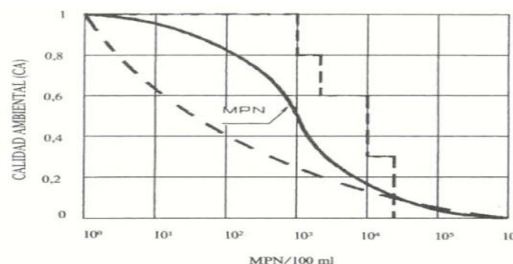
**Agua: Oxígeno disuelto**

Indicador del factor: Cantidad de oxígeno disuelto en agua (saturación 9 mg/l).  
 Unidad de medida: mg/l



**Agua: Coliformes fecales**

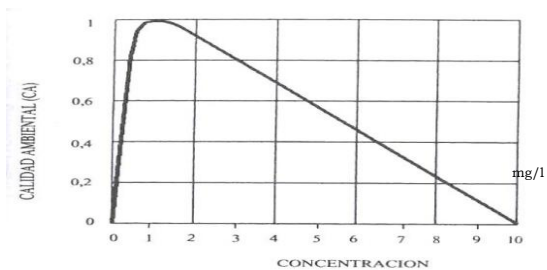
Indicador del factor  
 Unidades convencionales de MPN/100 ml  
 Unidad de medida: MPN/100 ml



**Agua: Nitrógeno inorgánico**

Indicador del factor: Concentración

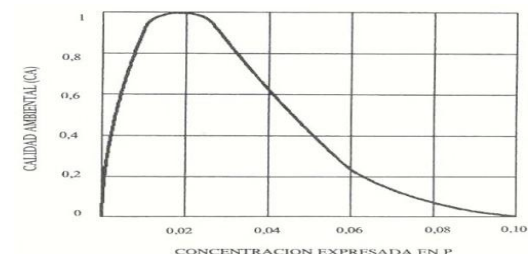
Unidad de medida: mg de N/l



**Agua: Fosfato inorgánico**

Indicador del factor: Concentración

Unidad de medida: mg de P/l de agua

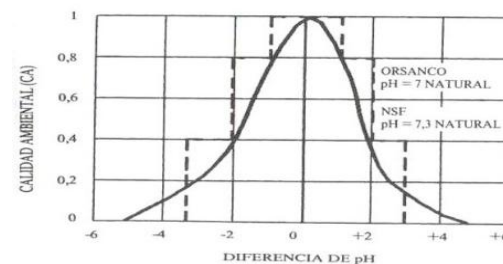


**Agua: pH**

Indicador del factor

Diferencia de pH respecto al que se considera en equilibrio.

Unidad de medida: Δ pH



**Agua: Sólidos disueltos totales**

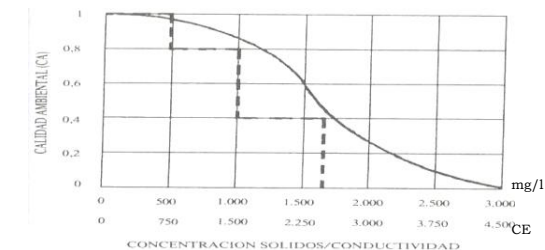
Indicador del factor

Concentración

Unidad de medida:

\_\_\_ mg/l

-----CE (conductividad eléctrica)

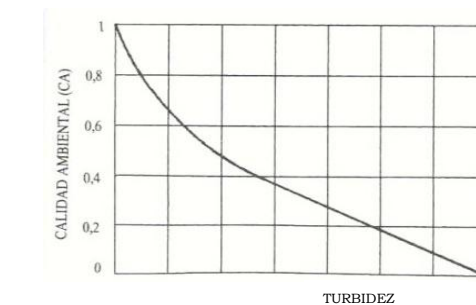


**Agua: Turbidez**

Indicador del factor

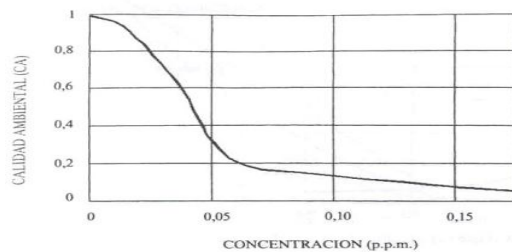
Turbidez

Unidad de medida: unidades Jackson



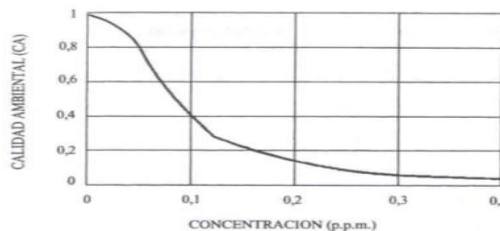
**Atmósfera: Óxido de nitrógeno**

Indicador del factor  
 Concentración media anual  
 Unidad de medida: ppm



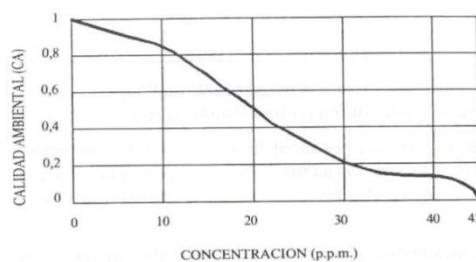
**Atmósfera: Óxidos de azufre**

Indicador del factor  
 Indicador del factor  
 Concentración media en 24 hrs.  
 Unidad de medida: ppm



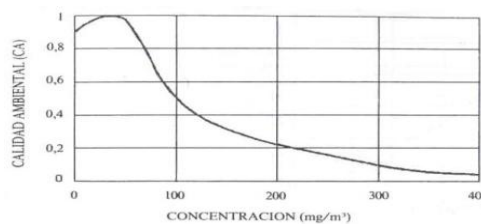
**Atmósfera: Monóxido de carbono (CO)**

Indicador del factor  
 Concentración medida diaria  
 Unidad de medida: ppm



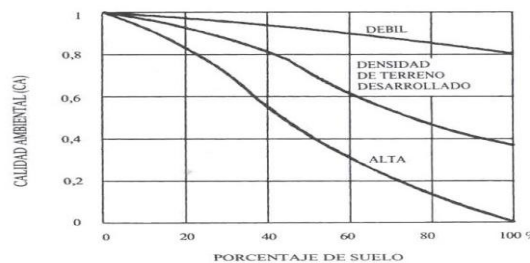
**Atmósfera: Polvo en suspensión**

Indicador del factor  
 Concentración media en 24 horas  
 Unidad de medida: mg/m<sup>3</sup>



**Suelo: Usos del suelo**

Indicador del factor  
 Porcentaje del suelo desarrollado según distintos tipos de densidad.  
 Unidad de medida: %

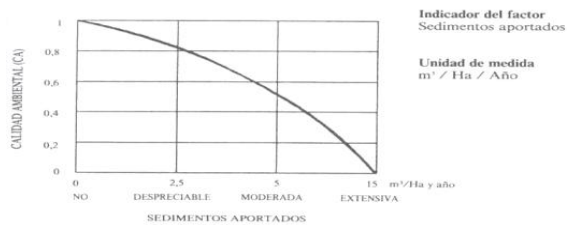


**Suelo: Erosión (E)**

Indicador del factor

a) Sedimentos aportados

Unidad de medida: m<sup>3</sup>/ha/año



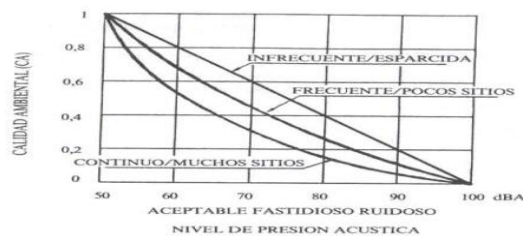
**Componente ambiental: Ruido**

**Ruido**

Indicador del factor

Nivel de presión acústica

Unidad de medida: decibelios (dBA)



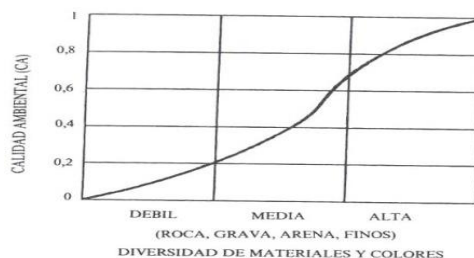
**III. Categoría Estética**

**Suelo: Material geológico superficial**

Indicador del factor

Estimación cualitativa de la diversidad de materiales y colores.

Unidad de medida: estimativa

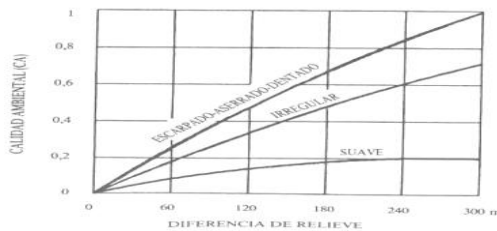


**Suelo: Relieve y características topográficas**

Indicador del factor

Diferencias de relieve según los distintos tipos

Unidad de medida: metro



**Aire: Olor y visibilidad**

Indicador del factor

Combinación de olores y contaminación del aire.

Unidad de medida: adimensional

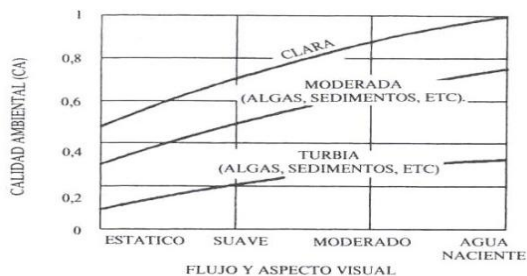


**Agua: Presencia de agua**

Indicador del factor

Característica del flujo y aspecto visual del agua.

Unidad de medida: estimativo.

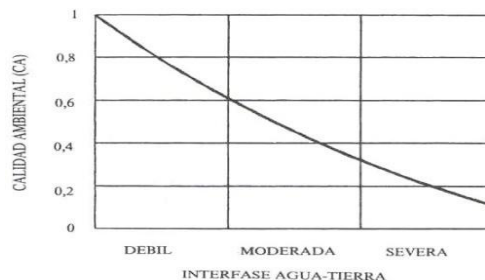


**Agua: Interfaces tierra-agua**

Indicador del factor

Extensión y aspecto de la superficie correspondiente a las variaciones del nivel de agua en los márgenes.

Unidad de medida: estimativo

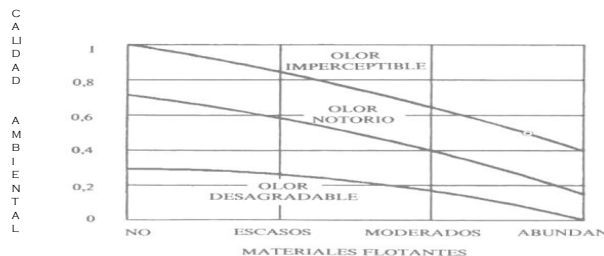


**Agua: Olor y materiales flotantes**

Indicador del factor

Cantidad de materiales flotantes y percepción del olor.

Unidad de medida: estimativa



**Agua: Área de superficie de agua**

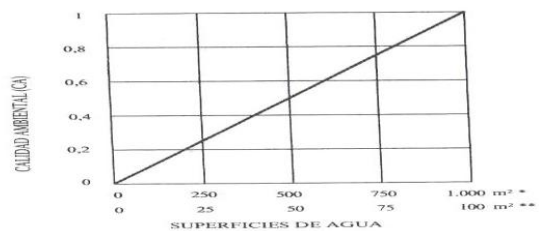
Indicador del factor

Área de la superficie de agua

Unidad de medida:

(\*) m<sup>2</sup> superficie abierta

(\*\*)m<sup>2</sup> superficies urbanas

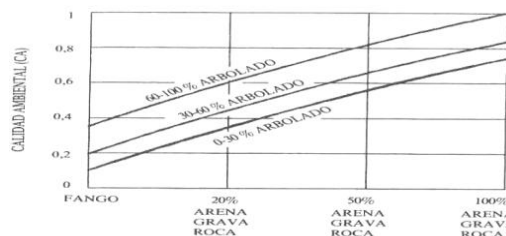


**Agua: Márgenes arboladas y geológicas**

Indicador del factor

Material geológico y de la cubierta arbolada fr las márgenes entre 0 y 125 m desde la orilla del agua.

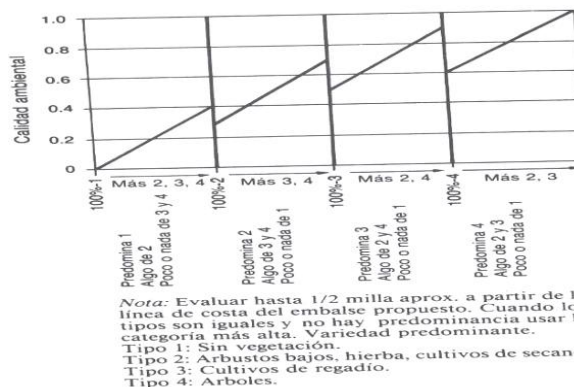
Unidad de medida:%



**Biota: Diversidad de tipos de vegetación**

Indicador del factor

Estimación del parámetro: variedad  
cualitativamente estimada.

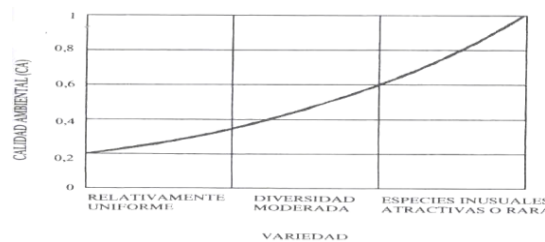


**Biota: Variedad en cada tipo**

Indicador del factor

Variedad cualitativamente estimada

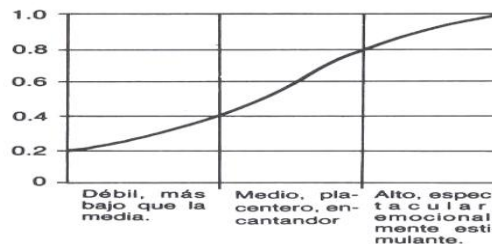
Unidad de medida: estimativa



**Composición: Efectos de composición**

Indicador del factor

Subjetiva



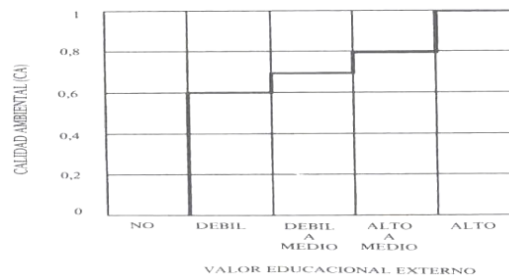
**IV. Categoría Intereses Humanos**

**Educación científicos: Ecológicos, hidrológicos y geológicos**

Indicador del factor

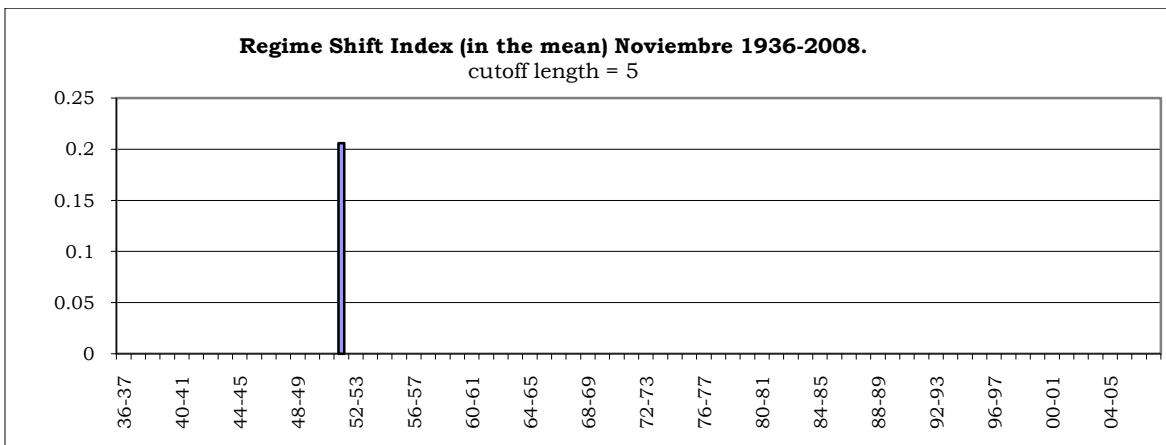
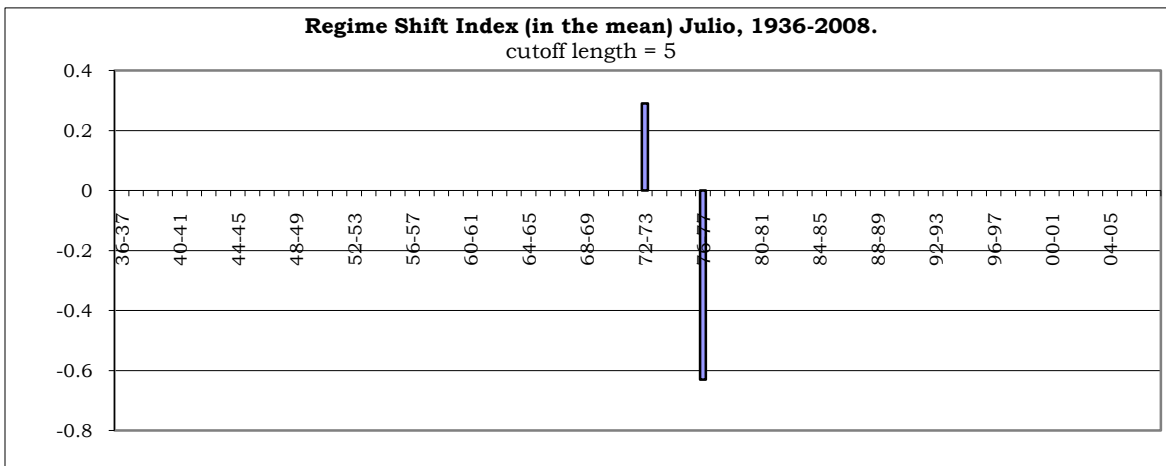
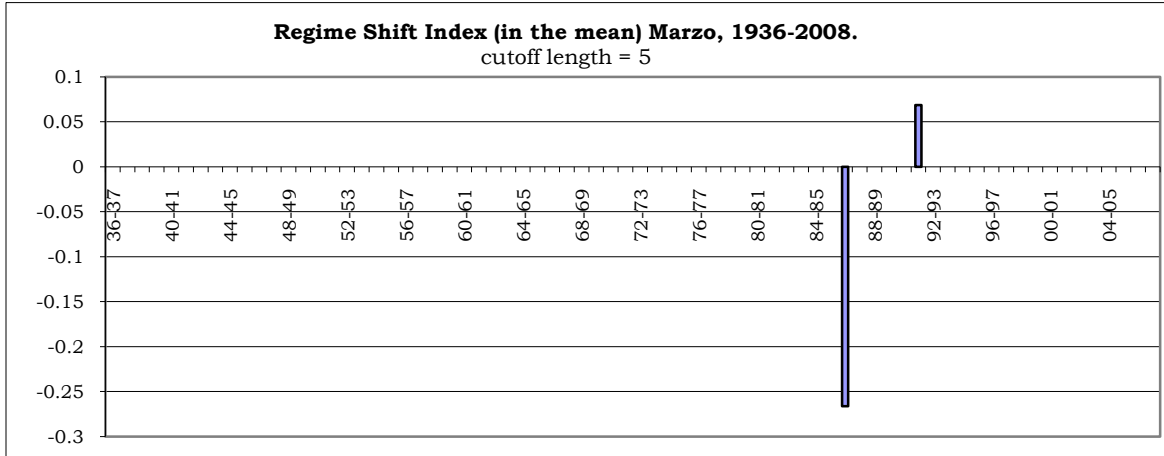
Significación fuera del área, del valor según la apreciación de la población.

Unidad de medida: estimativa

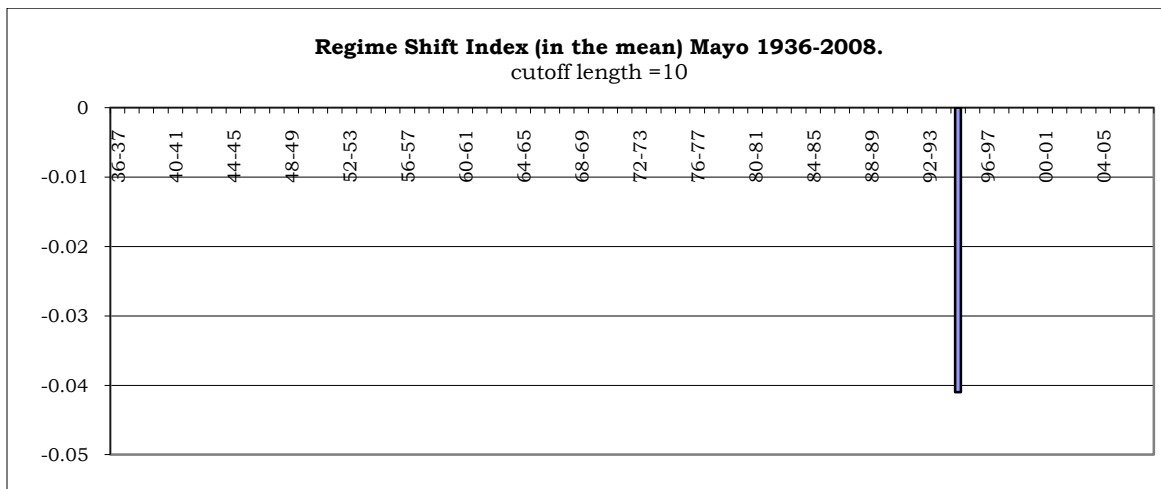
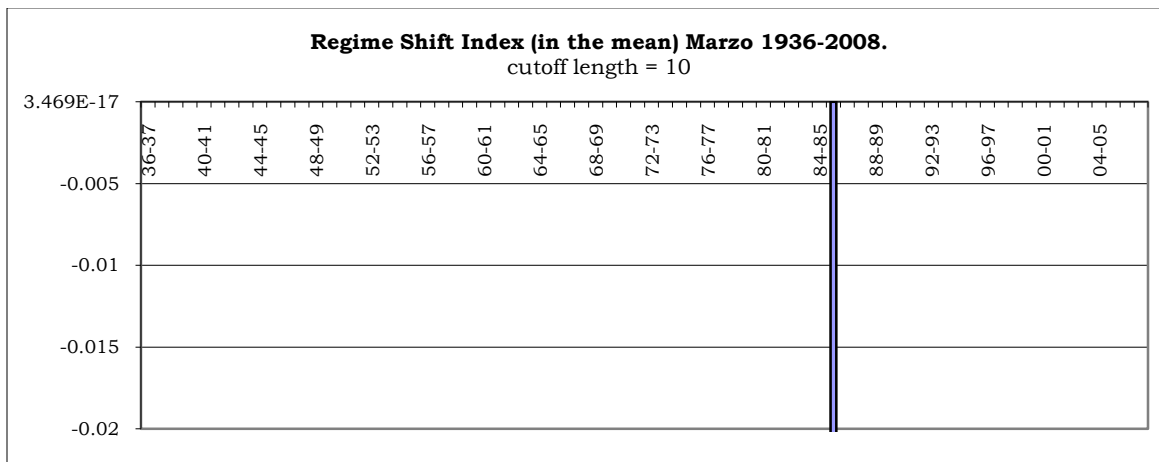
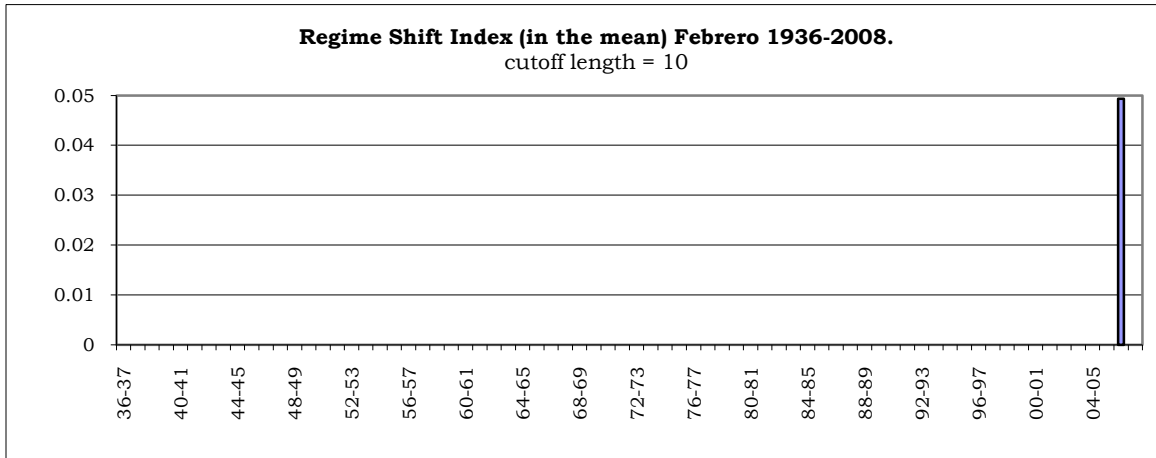


**ANEXO E. FLUCTUACIONES DEL REGISTRO HISTÓRICO DE ESCURRIMIENTOS MENSUALES, CUENCA DE METZTITLÁN 1936-2008.**

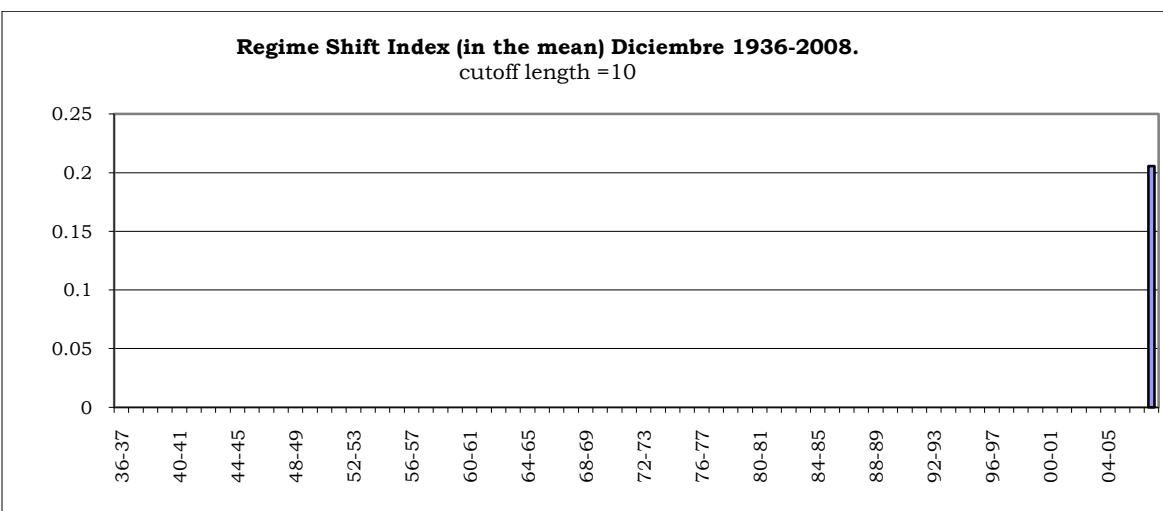
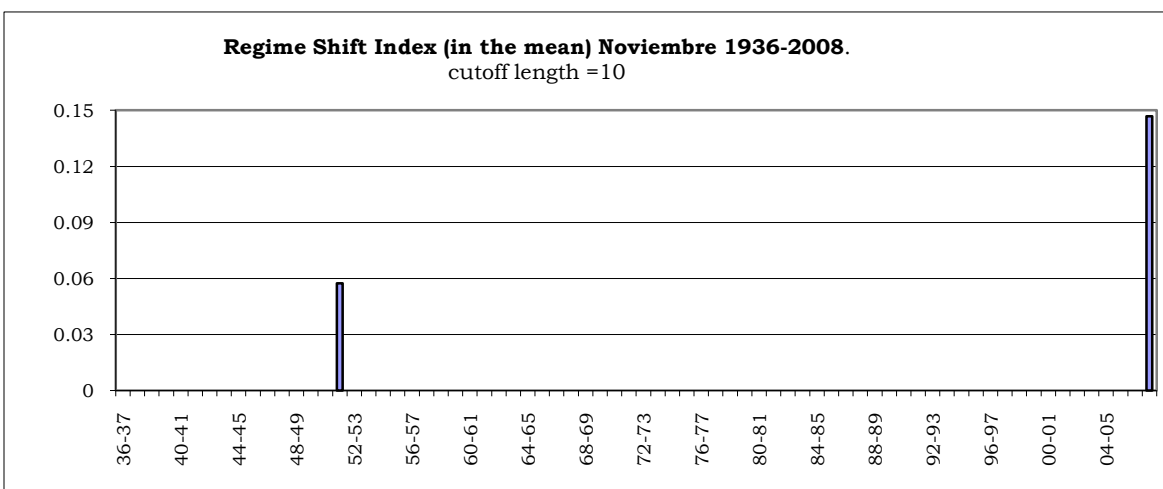
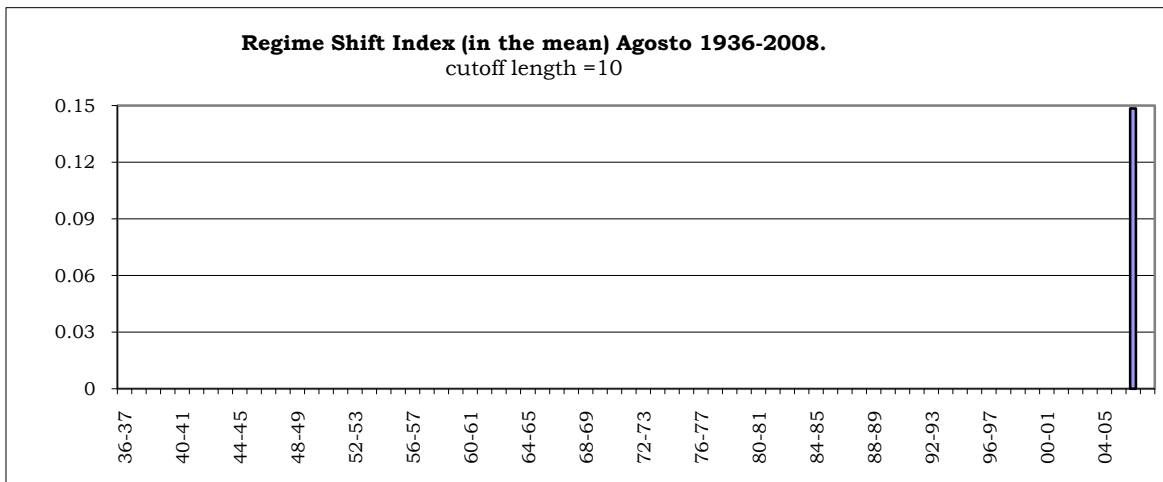
Corte de cinco años (Rodionov, 2004).



Fluctuaciones del registro histórico de escurrimientos mensuales en la cuenca de Metztitlán 1936-2008. Corte de 10 años (Rodionov, 2004).







## ANEXO F. SISTEMA DE VALORACIÓN DEL MÉTODO BATELLE COLUMBUS

### ECOLOGÍA

Especies y poblaciones	Valor de impacto (UIA)			Señal alerta
	Sin proy	Con proy	Impacto neto	
<b>Terrestres</b>				
23.7 Cosechas	0	11.8	11.8	
23.7 Vegetación natural	9.5	11.8	2.4	X
<b>Acuáticas</b>				
23.7 Pesca comercial	0	0	0	
23.7 Aves acuáticas	4.7	4.7	0	X
<b>Hábitat y comunidades</b>				
<b>Terrestres</b>				
20.3 Índice de cadena trófica	16.2	12.2	-4.1	
20.3 Uso de la tierra	0	12.2	12.2	
20.3 Especies raras o amenazadas	0	4.1	4.1	X
23.7 Diversidad de especies	0	23.7	23.7	X
<b>Acuáticas</b>				
20.3 Índice de cadena trófica	12.2	8.1	-4.1	
20.3 Especies raras o amenazadas	4.1	0	-4.1	X
20.3 Carácter del río	0	5.1	5.1	
<b>240 Total</b>	<b>46.6</b>	<b>93.6</b>	<b>47.0</b>	

### ASPECTOS ESTÉTICOS

	Valor de impacto (UIA)			Señal alerta
	Sin proy	Con proy	Impacto neto	
<b>Suelo</b>				
8.7 Material geológico superficial	1.7	1.7	0	
23.1 Relieve y caracteres topográfico	6.4	6.3	0	
<b>Aire</b>				
4.3 Olor y visibilidad	0	3.9	3.9	
<b>Agua</b>				
14.4 Presencia de agua	0	3.6	3.6	
23.1 Interfase agua-tierra	2.3	18.5	16.2	
8.7 Olor y materiales flotantes	2.6	5.6	3.0	
14.4 Extensión superficie de agua	14.4	7.9	-6.5	
14.4 Márgenes arboladas y ecológicas	1.4	10.1	8.7	
<b>Biota</b>				
13 Diversidad en tipos de vegetación	2.6	9.1	6.5	
7.2 Variedad en tipos de vegetación	4.3	7.2	2.9	
<b>Composición</b>				
21.7 Composición	0	4.3	4.3	
<b>153 Total</b>	<b>35.8</b>	<b>78.4</b>	<b>42.6</b>	

## Continuación

## CONTAMINACIÓN

	Valor de impacto (UIA)			Señal alerta
	Sin proy	Con proy	Impacto neto	
<b>Agua</b>				
33.5 Pérdida cuencas hidrográficas	31.8	0.0	-31.8	
51.9 Oxígeno disuelto	15.6	26.0	10.4	
30.2 Coliformes fecales	6.0	9.0	3.0	
41.9 Nitrógeno inorgánico	0.0	0.2	0.2	
46.9 Fosfato inorgánico	0.0	3.5	3.5	
30.2 pH	15.1	21.1	6.0	
41.9 Sólidos disueltos totales	0.0	14.7	14.7	
33.5 Turbidez	0.0	6.7	6.7	
<b>Atmósfera</b>				
8.4 Monóxido de carbono	8.4	8.4	0.0	
16.8 Óxidos de nitrógeno	16.8	16.8	0.0	
16.8 Óxidos de azufre	16.8	16.8	0.0	
20.1 Partículas sólidas	20.1	20.1	0.0	
<b>Suelo</b>				
23.5 Erosión	4.7	7.0	2.3	
<b>Ruido</b>				
6.7 Ruido	6.7	6.7	0.0	
<b>402 Total</b>	141.9	156.9	15.0	

## INTERESES HUMANOS

	Valor de impacto (UIA)			Señal alerta
	Sin proy	Con proy	Impacto neto	
<b>Valores educacionales y científicos</b>				
38.1 Ecológico	0.0	26.65	26.65	
32.2 Geológico	32.2	32.2	0.0	
32.2 Hidrológico	0.0	22.6	22.6	
<b>Sensaciones</b>				
32.2 Integración con la naturaleza	0.0	19.3	19.3	
<b>Estilo vida (patrones culturales)</b>				
38.1 Oportunidad empleo	0.0	24.7	24.7	
32.2 Interacciones sociales	0.0	25.8	25.8	
<b>205 Total</b>	32.2	151.3	119.0	

		Ecología	Contaminación	Aspecto Estético	Interés Humano	Total
<b>UIA</b>	Señal alerta	X				
	Con proy	93.6	156.9	78.4	151.3	480.2
	Sin proy	46.6	141.9	35.8	32.2	256.5
	Cambio neto	47.0	15.0	42.6	119.0	223.6