

IMPACTO Y CAUDALES AMBIENTALES DEL TÚNEL PROPUESTO EN LA LAGUNA METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO

• Mayra Mendoza • Abel Quevedo • Iouri Nikolskii • Enrique Rubiños •
Colegio de Postgraduados, México

• Elizabeth Hernández •
Universidad Autónoma Chapingo, México

Resumen

Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar los impactos ambientales que se pudieran originar en caso de la construcción del tercer túnel de desfogue en la laguna Metztlán —dentro de la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztlán— y justificar el régimen de desfogue que permitiría proteger el medio ambiente. Este túnel fue diseñado por la Conagua para disminuir las inundaciones que afectan al Distrito de Riego 08 cada 2.5 años, en promedio. En el trabajo se aplicaron dos métodos de evaluación del impacto ambiental: Matriz de Importancia y Batelle Columbus (MBC), con los que se determinaron cualitativa y cuantitativamente los impactos potenciales sobre la biodiversidad terrestre y acuática en la reserva de la biosfera. Los impactos se estimaron a través de 42 parámetros del estado del medio ambiente. Se consideró que el impacto global del proyecto sería de baja significancia, pero sí se presentaría. El aporte de esta investigación es la recomendación de que el desfogue del agua a través del túnel ocurra en tal régimen, que la superficie del agua en la laguna se mantenga cada año en los niveles que correspondan al 60% de los aportes medio mensuales que llegan a la laguna, a fin de prevenir los impactos negativos o disminuir aquellos que no se pueden evitar.

Palabras clave: proyecto, parámetros del estado ecológico.

Introducción

El Distrito de Riego 08 (DR-08) se ubica en la cuenca del río Metztlán, estado de Hidalgo, México, dentro de la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztlán (RBBM), que se estableció en el año 2000. El área de dicha reserva es el 33.2% de la cuenca, el DR-08 ocupa un 2% de ésta y el 6.1% de la reserva.

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 el río. Las avenidas extraordinarias que se presentan llenan rápidamente la laguna, que tiene poco volumen de almacenamiento e insuficiente capacidad de desfogue, por lo que se inundan la

zona agrícola y algunas comunidades cercanas, y se destruye la infraestructura hidroagrícola del DR-08, de las localidades urbanas y caminos, lo que a su vez repercute en la sociedad y el ambiente.

Antes de la creación de la RBBM, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) había construido dos túneles para aumentar el desfogue en la laguna y prevenir las inundaciones de los terrenos agrícolas del DR-08, en altitudes de las plantillas de entrada de 1 244.74 y 1 232.72 m, con los gastos máximos 53 y 11 m³/s, ambos en forma de herradura.

Sin embargo, estos túneles son insuficientes para evitar los desbordamientos que ocurren con una frecuencia de inundación de 2.5 años y duran más de seis meses (Conagua, 2003); se

afecta al sistema productivo en casi la totalidad del DR-08, y posiblemente la biodiversidad terrestre y acuática de una parte de la reserva. Estas inundaciones causan diferentes impactos negativos:

- 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, etcétera, 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*.
- 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 dispersión de especies (Conabio, 2009).

La Conagua propone la construcción de un túnel adicional de desfogue con ubicación de plantilla de entrada en altitud de 1 229.45 m y un gasto máximo de 112 m³/s. Este túnel permitirá reducir con mayor eficiencia la inundación de los terrenos agrícolas.

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, pues se argumenta que la construcción del tercer túnel podría extraer excesivamente el agua de la laguna hasta niveles que afectarían la biodiversidad que se conserva y protege dentro de la reserva.

Es por ello que los objetivos de esta investigación fueron evaluar cualitativa y cuantitativamente los impactos ambientales en la RBBM, que generaría la construcción del túnel propuesto y determinar el régimen del nivel de agua en la laguna que permitiría el buen desarrollo de las especies de flora y fauna que habitan ahí y en los alrededores, dentro de la reserva biológica.

Según Bruhn y Eklund (2002), la evaluación de impacto ambiental 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.

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

La laguna Metztlán se ubica entre los municipios Metztlán y Eloxochitlán, Hidalgo, México, en la RBBM, entre las coordenadas geográficas 20° 31' y 20° 43' latitud norte y 98° 37' y 98° 52' longitud oeste, a 1 264 msnm. El área de influencia del proyecto de la construcción del túnel, que abarca la laguna Metztlán, el DR-08 y zonas rurales aledañas al río hasta Puente Venados, ocupa 6 420 ha y equivale al 6.68% de la RBBM (96 043 ha).

La laguna es un humedal de gran importancia para las aves migratorias, por lo que cuenta con reconocimiento internacional

(Ramsar, 2007). Tiene las funciones de retener nutrimentos y sedimentos que transporta el río, generar la recarga del acuífero subterráneo y formar las condiciones microclimáticas específicas que soportan la riqueza biológica y genética (Conanp, 2003).

El clima que predomina es seco semicálido (BSohw, según la clasificación Köpen y modificada por García, 1981), con lluvias en verano. Los tipos de suelos presentes en el área de inundación potencial son luvisol vértico y fluvisol calcárico (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

La laguna tiene una profundidad de hasta 10 m, pertenece a la Región Hidrológica 26 Alto Pánuco, su aporte principal es el río Metztlán, cuya cuenca tiene un área de 289 400 ha. La

superficie acuática media de la laguna es de alrededor de 581 ha (Conagua, 1998a) y varía en el año en función de caudal del río.

En el área de influencia del proyecto, la vegetación natural que predomina se forma por matorral xerófilo, vegetación ribereña y, en menor grado, bosque tropical caducifolio (figura 1).

A estas comunidades vegetales y a la laguna se asocian 198 especies de flora y 303 de fauna, de las que 27 y 12 especies, respectivamente, se encuentran en categoría riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat, 2002). Porque la distribución de dichas especies abarca los ecosistemas que previamente se mencionaron y su presencia es mínima en el área del proyecto es que se omite la descripción de las mismas.

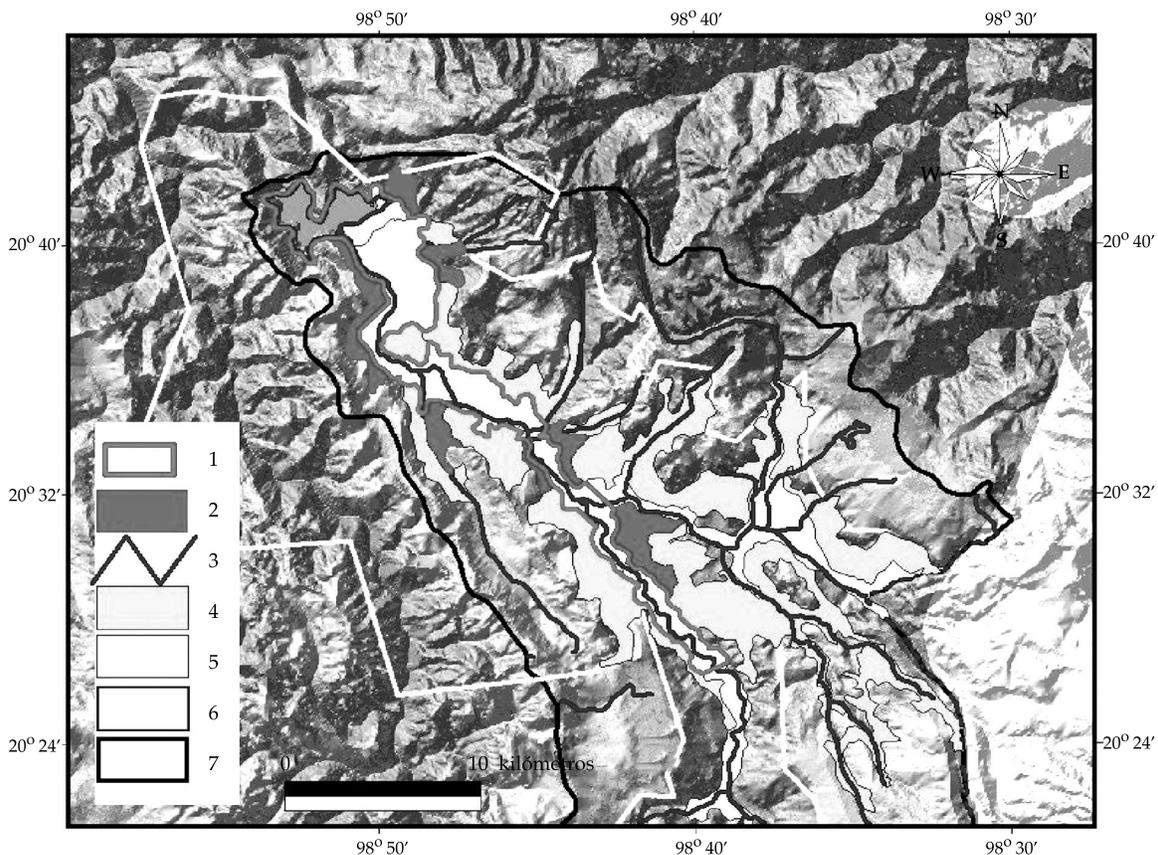


Figura 1. Tipos de vegetación en el área del proyecto y alrededores en la cuenca de Metztlán. . 1. Área de influencia del proyecto; 2. Bosque tropical caducifolio; 3. Hidrología superficial; 4. Matorral xerófilo; 5. DR-08; 6. RBBM; 7. Cuenca Metztlán.

La cuenca del río Metztlán es cerrada, los escurrimientos que arriban a la laguna en época de lluvia aumentan la dimensión del embalse y aunque a través de resumideros naturales se forma el río Almolón, afluente del río Amajac, parte del DR-08 se inunda frecuentemente.

Metodología

El impacto ambiental en caso de la construcción del tercer túnel se evaluó mediante la aplicación de dos métodos, a los que se les denomina en bibliografía Matriz de Importancia y Batelle Columbus (Conesa, 2003). El primero mide cualitativamente el impacto en función del grado de incidencia o intensidad de alteración que se produciría al considerar la caracterización del efecto que responde a una serie de atributos cualitativos, como extensión y tipo de efecto, entre otros. El segundo método permite cuantificar la pérdida de calidad de cada parámetro que se altera, así como la pérdida global de calidad de los elementos impactados.

Matriz de Importancia

El método considera la elaboración de una matriz que comprende 42 parámetros ambientales, que se pueden relacionar con el proyecto de construcción del túnel. Los parámetros se presentan en el cuadro 1 y se dividen en 13 componentes ambientales que, a su vez, se integran a cuatro categorías: ecología, contaminación, aspectos estéticos e intereses humanos.

La categoría "Ecología" contiene los componentes ambientales: especies y poblaciones terrestres y acuáticas, hábitats y comunidades terrestres y acuáticas.

La categoría "Contaminación" contiene los componentes siguientes: agua, atmósfera, suelo y ruido.

La categoría "Aspectos estéticos" incluye los siguientes componentes: suelo, aire, agua, biota, objetos y construcciones humanas, y composición paisajística.

La categoría "Intereses humanos" incluye los componentes: educación, históricos, culturas, sensaciones y forma de vida de la población.

Simbólicamente, el impacto ambiental integral de un proyecto de obras hidráulicas se denomina importancia del impacto ambiental (I) e incluye en cada impacto particular nueve características que se presentan a continuación en forma de ecuación (Conesa, 2003):

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] \quad (1)$$

Donde \pm = calidad del impacto (positivo o negativo); i = grado del impacto (baja, media, etc.); EX = área de influencia; MO = tiempo que tarda en presentarse el impacto; PE = permanencia del efecto; RV = reversibilidad por medios naturales; SI = sinergia (riesgo de aumento de impacto integral por ocurrencia simultánea de los impactos particulares); AC = acumulación del impacto en tiempo; EF = efecto (directo o indirecto); PR = periodicidad o regularidad de manifestación; MC = recuperabilidad o reversibilidad por medios humanos.

Primero se define el signo del impacto ambiental: positivo o negativo (en algunas ocasiones esto no es simple). Después cada componente de la ecuación (1) se evalúa según Conesa (2003), con la siguiente escala: $i = 1, 2, 4, 8$ o 12 para las intensidades baja, media, alta, muy alta o total, respectivamente; $EX = 1, 2, 4$ o 8 para impacto puntual, parcial, extenso o crítico, respectivamente; $MO = 1, 2$ o 4 , en caso de presentación del impacto a plazo largo, medio o inmediato, respectivamente; $PE = 1, 2$ o 4 para el impacto fugaz, temporal o permanente, respectivamente; $RV = 1, 2$ o 4 para los casos de reversibilidad durante plazo corto, medio o irreversible, respectivamente; $SI = 1, 2$ o 4 para casos sin sinergia, sinérgico o muy sinérgico, respectivamente; $AC = 1$ o 4 para casos de acumulación del impacto simple o acumulativa, respectivamente; $EF = 1$ para impacto indirecto o 4 para directo; $PR = 1, 2$ o 4 para aparición del impacto discontinua, periódica o continua, respectivamente; MC

Cuadro 1. Categorías, componentes y parámetros ambientales susceptibles de afectación potencial en caso de la construcción del túnel para desfogar el agua en la laguna Metztlán.

Categorías	Ecología	Contaminación	Aspectos estéticos	Intereses humanos
Componentes ambientales	Especies y poblaciones terrestres	Agua	Suelo	Educación
Parámetros	Cosechas, vegetación natural terrestre.	Pérdidas hidrológicas, oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitrógeno inorgánico, fosfato inorgánico, pH, sólidos disueltos totales, turbidez.	Material geológico superficial, relieve y características topográficas.	Ecológica, hidrológica, geológica.
Componentes ambientales	Especies y poblaciones acuáticas	Atmósfera	Aire	Sensaciones
Parámetros	Pesca comercial, aves acuáticas.	Óxido de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono, polvo en suspensión.	Olor y visibilidad.	Integración con la naturaleza, oportunidad de empleo, interacciones sociales.
Componentes ambientales	Hábitats y comunidades terrestres	Suelo	Agua	
Parámetros	Índice cadena trófica, uso de la tierra, especies raras o amenazadas, diversidad de especies.	Erosión.	Presencia de agua, interfaces tierra-agua, olor y materiales flotantes, área de superficie de agua, márgenes arboladas y geológicas.	
Componentes ambientales	Hábitats y comunidades acuáticas	Ruido	Biota	
Parámetros	Índice de cadena trófica, especies raras o amenazadas, carácter del río y/o de la laguna.	Contaminación auditiva.	Diversidad de tipos de vegetación, variedad en cada tipo de vegetación.	
Componente ambiental			Composición	
Parámetro			Efectos de composición.	

= 1, 2 o 4 para recuperabilidad inmediata, a medio plazo o mitigable, respectivamente. El indicador cualitativo de importancia del impacto ambiental I , que se relaciona con cada uno de los 42 parámetros, se comparó

con los siguientes intervalos de importancia del impacto (Conesa, 2003): $I \leq 25$ corresponde a un impacto de baja significancia; $25 < I \leq 50$ impacto moderado; $50 < I \leq 75$, severo; $I > 75$, crítico.

portancia del impacto que se mencionaron anteriormente.

Método Batelle Columbus (MBC)

Este método se diseñó especialmente para evaluar cuantitativamente los impactos ambientales de obras hidráulicas (Espinoza, 2001; Dee et al., 1973) y considera los mismos 42 parámetros ambientales que se seleccionaron anteriormente. Previa identificación de los parámetros ambientales susceptibles de afectación, se procedió a determinar mediante trabajo en campo y búsqueda de información, el valor de cada parámetro conforme los criterios que para cada uno de éstos establece el MBC y que se mencionan a continuación.

En la categoría Ecología, los parámetros "Cosechas" (k_c) y "Vegetación natural terrestre" (k_{vnt}) se calculan así:

$$k = 100 \left[\frac{\sum_1^n (S_i K_i)}{S_t} \right] \quad (2)$$

Donde k es valor adimensional del parámetro "Cosechas" (k_c) o "Vegetación natural terrestre" (k_{vnt}); S_i = área de cada tipo de cultivo (para k_c) o de vegetación (para k_{vnt}) (ha); n = número de tipos de los cultivos (para k_c) o de vegetación (para k_{vnt}); K_i = índice de productividad de los cultivos (para k_c) o de la vegetación (para k_{vnt}) (adimensional); S_t = superficie total del área agrícola (para k_c) o no arable en caso de la vegetación natural (para k_{vnt}) (ha).

"Pesca comercial" se caracteriza por el índice adimensional PC (en %):

$$PC = 100 \left[\frac{S_{ap} K_{ap}}{S_{máxp}} \right] \quad (3)$$

Donde S_{ap} = área habitada (ha); $S_{máxp}$ = máxima área del hábitat (ha); K_{ap} = indicador adimensional de la productividad de peces comerciales en la laguna. K_{ap} = 1, 0.67, 0.33 y 0

si el valor de la pesca es igual o mayor a \$1 000 pesos, de 100 a 1 000 pesos, de 10 a 100 pesos y de cero a 10 pesos, respectivamente.

Parámetro "Aves acuáticas" se calcula por el índice adimensional AA (en %):

$$AA = 100 \sum_1^n \frac{\log(D_{ia} K_{ia})}{\log D_{ia}} \quad (4)$$

Donde D_{ia} = densidad de especies de aves; n = número total de especies; K_{ia} = modificador del hábitat de cada especie (herbívoros, 0.33; omnívoros, 0.67; carnívoros, uno).

"Uso de la tierra" se calcula por el índice adimensional UT (en %):

$$UT = 100 \left[\frac{\sum_1^n S_{is} P_{is}}{S_t} \right] \quad (5)$$

Donde S_{is} = superficie de cada tipo de uso de suelo (ha); S_t = superficie total (ha); P_{is} = coeficientes dependientes de tipo de uso de suelo. P_{is} = 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 y 0 para las áreas natural, forestal, agrícola, residencial, comercial e industrial, respectivamente.

"Índice de cadena trófica" (ICT) para los casos terrestre y acuática se calcula así (en %):

$$ICT = 100 \left[\frac{\sum_1^n \log(D_{ict} K_{ict})}{\sum_1^n \log D_{ict}} \right] \quad (6)$$

Donde D_{ict} = densidad de especies de la cadena trófica; n = número total de especies; K_{ict} = modificador del hábitat de cada especie; K_{ict} = 0.33, 0.67 y 1 para herbívoros, omnívoros y carnívoros, respectivamente.

El parámetro "Especies raras o amenazadas" en los casos terrestres y acuáticas es igual a 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 0 para las especies muy comunes, comunes, frecuentes, endémicas de la región, endémicas del país, raras en la región, raras en el país, tres especies raras en

el país, en vías de extinción y extinguidos, respectivamente.

“Diversidad de especies” se refiere al número de especies por cada mil de individuos.

Los valores adimensionales del parámetro “Carácter del río” varían de 0 a 1 y se han tomado del trabajo de Amado (2006).

En la categoría Contaminación, el parámetro “Pérdidas hidrológicas” se refiere al porcentaje de la extracción de agua de la cuenca por actividades humanas, en relación con la descarga natural. Su valor se obtiene de los datos de Conagua (2008).

Los parámetros que se relacionan con la calidad del agua de la laguna: “Oxígeno disuelto”, “Coliformes fecales”, “Sólidos disueltos totales”, “Nitrógeno inorgánico”, “Fosfato inorgánico”, “pH” y “Turbidez” se han obtenido del trabajo de Amado (2006).

Los parámetros de calidad de aire tales como “Óxido de nitrógeno”, “Óxidos de azufre”, “Monóxido de carbono” y “Polvo en suspensión” se han obtenido del trabajo de Semarnat (2010).

El parámetro del suelo tal como “Erosión” fue calculado utilizando la ecuación universal de la erosión hídrica (SARH-Colpos, 1991).

El parámetro ambiental “Ruido” relaciona el nivel de presión acústica medido en decibelios y la periodicidad de su manifestación como infrecuente.

En la categoría de “Aspectos Estéticos” se encuentran los parámetros:

- “Material geológico superficial” es la estimación cualitativa de la diversidad de materiales (roca, grava, arena y finos) y colores en el suelo.
- “Relieve y características topográficas” implica las diferencias de relieve según los distintos tipos (aserrado-dentado-escarpado, irregulares y suaves).
- “Olor y visibilidad del aire” es un valor adimensional que se refiere a la combinación de olores (sin olor, olor desagradable o agradable) y contaminación del aire

(fuerte y frecuente, moderada y ocasional, o visibilidad clara).

- “Presencia de agua” es la estimación subjetiva de la característica del flujo de agua (estático, suave, moderado o agua naciente) y aspecto visual del agua (turbia, moderada o clara).
- “Interfaces agua-tierra” evalúa estimativamente la extensión y el aspecto de la superficie correspondiente a las variaciones del nivel de agua en los márgenes (débil, moderada o severa).
- “Olor y materiales flotantes” es una evaluación estimativa de la cantidad de materiales flotantes (abundantes, moderados, escasos o ausencia de éstos) y percepción del olor (desagradable, notorio o imperceptible).
- “Área de superficie de agua” se mide en m² de superficie abierta.
- “Márgenes arboladas y geológicas” relaciona el material geológico (arena, grava y roca) y el porcentaje de la cubierta arbolada (0-30, 30-60 y 60-100%) de las márgenes entre 0 y 125 m desde la orilla del agua.
- “Diversidad de tipos de vegetación” se estima según la predominancia de los siguientes rubros: 1. Sin vegetación; 2. Arbustos bajos, hierba, cultivos de secano; 3. Cultivos de regadío, y 4. Árboles.
- “Variedad en cada tipo de vegetación” es un valor que se estima sobre la vegetación: si es uniforme, de diversidad moderada o si existen especies atractivas o raras.
- “Efectos de composición del paisaje” se mide subjetivamente y puede ser débil, placentero y encantador, o espectacular y emocionalmente estimulante.

En la categoría “Intereses Humanos” se encuentran los parámetros:

- “Ecológicos”, “Hidrológicos” y “Geológicos”, los cuales se estiman según la apreciación que la gente fuera del sitio tiene de ésta y puede ser alta, media, débil o carecer de importancia.

- “Integración con la naturaleza” se mide subjetivamente e implica la sensación que se experimenta al encontrarse en el sitio de estudio.
- “Oportunidad de empleo” se relaciona con el porcentaje de población ocupada respecto a la población activa en el área de influencia del proyecto.
- “Interacciones sociales” es una estimación subjetiva de las acciones humanas que permiten la convivencia y armonía entre la comunidad.

Para expresar el impacto neto de cada parámetro, se obtuvieron las Unidades de Impacto Ambiental (UIA) adimensionales:

$$UIA = ICA_i * IP_i \quad (7)$$

Donde ICA_i = índice de calidad ambiental adimensional que se obtuvo de las gráficas de transformación (Conesa, 2003) y varió entre 0 y 1, en función de valor que se obtuvo previamente de cada parámetro; IP_i = índice de ponderación adimensional que varió entre 1 y 52 y se obtuvo de la publicación de Conesa (2003). Se aplicó la ecuación (7) en los 42 parámetros que se mencionaron anteriormente.

Los cálculos de UIA se hicieron para dos condiciones: sin proyecto UIA_{sin} y con proyecto UIA_{con} . Para éste se calcularon $ICA_{i sin}$ e $ICA_{i con}$ para las mismas condiciones. La diferencia de ambos valores indicó el impacto neto del proyecto en relación con cada parámetro:

$$UIA_{i neto} = UIA_{i con} - UIA_{i sin} \quad (8)$$

Los valores positivos, negativos o cercanos a cero indican el efecto de la obra. Si es cercano a cero, se dice que la obra no afecta el entorno del proyecto o será mínimo. El Impacto Global Neto debido al proyecto se determinó como la suma de los impactos netos particulares $UIA_{i neto}$:

$$\text{Impacto global neto} = \sum_{i=0}^n UIA_{i neto} \quad (9)$$

Justificación del régimen de desfogue permisible ecológico de agua de la laguna Metztlán

Para justificar el régimen de desfogue permisible de agua de la laguna Metztlán a través del túnel diseñado, se realizó el análisis hidrológico de la laguna. Se analizaron los escurrimientos mensuales del periodo 1936-2008, calculando la probabilidad de excedencia P con la ecuación:

$$P = m / (n + 1) \quad (10)$$

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

Se utilizaron los escurrimientos que corresponden a una probabilidad $P = 80\%$ 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 en el mismo periodo.

A la disponibilidad media mensual de la laguna se le restó el volumen que ésta puede almacenar hasta la cota 1232.74, que corresponde a 388.5 m³, para conocer los probables volúmenes de desfogue.

Por otra parte, se utilizó el método Tennant (1976) para establecer los volúmenes ecológicos de la laguna, que corresponden a ciertas probabilidades del caudal medio mensual del río Metztlán, que alimenta la laguna:

- Caudal ambiental mínimo (10% del caudal medio mensual). Este caudal permite la

supervivencia a corto plazo del hábitat ribereño y de la vida acuática, pero se degrada la belleza escénica.

- Caudal ambiental de rango óptimo (60%): provee un hábitat de excelente a excepcional para la vida acuática en sus primeros periodos de crecimiento; la calidad y cantidad de agua es excelente para la pesca, navegación y recreación; la estética y belleza natural de los ríos serán de excelentes a excepcionales.
- Caudales ambientales con probabilidades de 20, 30 y 40% se consideran como bueno, excelente y sobresaliente, respectivamente. Estos caudales son intermedios entre el caudal ambiental mínimo y rango óptimo.

Finalmente, se comparó la disponibilidad media mensual de la laguna con los caudales ambientales del método Tennant (1976).

Resultados y discusión

Se elaboró la matriz donde se identificaron 42 factores ambientales susceptibles de alterarse en la fase preparación del sitio y construcción (fase uno), o bien en la fase de operación y mantenimiento (fase dos), que aparecen en el cuadro 1. Las actividades que se identificaron como parte de la obra son apertura del camino de acceso, construcción del túnel y canales de llamada y salida, emportalamientos, obras de protección y explotación de bancos de material. Los resultados de la evaluación del impacto ambiental potencial en caso de la construcción del túnel de desfogue de la laguna de Metztlán según los dos métodos se presenta a continuación.

Método de Matriz de Importancia

Los resultados de la valoración cualitativa de la importancia de los impactos ambientales por categoría y actividad en la fase de preparación del sitio y construcción, y en la fase de operación del túnel se presentan en el cuadro 3. También se muestran sus porcentajes con respecto a

los valores máximos de la importancia del impacto.

Es decir, en un ejercicio adicional se empleó nuevamente la ecuación (1), pero con los valores máximos de cada parte de la ecuación, para tener un esquema de comparación (cuadro 3):

- 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 575 de un total de $-4\ 032$ (máximo valor que puede tomar el impacto), es decir, el 14% de la importancia máxima del impacto.

En el intervalo de impactos (significancia baja (0-25%), moderados (26-50%), severo (51-75%) y crítico ($> 75\%$)), el proyecto de la construcción del tercer túnel será de carácter con significancia baja, al presentar 22% en la fase uno y 14% en la fase dos.

En la primera fase, la categoría de mayor afectación será Ecología, con una importancia de impacto de 32% y sus actividades más incidentes: camino de acceso, con el 32%, y obras de protección, con el 30% de la importancia máxima del impacto. La importancia del impacto positiva se presenta en ambas fases; los espacios vacíos carecen de impactos.

En el cuadro 4 se muestra la clasificación de los porcentajes de los impactos del cuadro 3, según los intervalos de importancia que se indicaron anteriormente.

Como se puede ver en el cuadro 4, no aparecen impactos críticos, lo que significa que el proyecto de construcción del tercer túnel no tiene alto impacto ambiental. Se cuentan en total 44 impactos para ambas fases: tres con grado severo, 27 moderado y 14 de significancia baja. En las categorías Ecología y Contaminación se esperan nueve y cuatro impactos con nivel moderado, respectivamente.

Cuadro 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	Empotramientos	Canal de salida	Obra de toma	Tajo Almolón	Obras de protección	Explotación bancos	Campamentos	Suma fase de preparación	Suma fase de operación
Ecología	-850	-177	-426	-142	-294	--	-320	-543	-304	-25	-3 081	105
Contaminación	-498	-228	-317	-87	-83	-38	-76	-230	-275	-314	-2 146	-106
Estética	-630	-105	-193	-99	-262	--	-232	-386	-302	--	-2 209	71
I. humanos	200	75	276	50	50	50	50	125	100	36	1 012	505
Total	-1 778	-435	-660	-278	-589	12	-578	-1 034	-781	-303	-6 424	575

Valores máximos de importancia

Ecología	-2 688	-672	-1 440	-480	-864	--	-864	-1 824	-672	-96	-9 600	-2 112
Contaminación	-1 770	-960	-1 536	-384	-384	-192	-384	-864	-559	-1 152	-8 185	-576
Estética	-1 728	-384	-672	-384	-864	--	-768	-1 824	-576	--	-7 200	-384
I. humanos	-768	-288	-1 248	-192	-96	-192	-192	-480	-384	-96	-3 936	-960
Total	-6 954	-2 304	-4 896	-1 440	-2 208	-384	-2 208	-4 992	-2 191	-1 344	-28 921	-4 032

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

Ecología	32	26	30	30	34	--	37	30	45	26	32	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	53
Respecto a totales	26	19	13	19	26	3	26	21	36	23	22	14

Cuadro 4. 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	--	44

El área de influencia del proyecto abarca la laguna Metztlán, el DR-08 y zonas naturales aledañas al río, que ocupan una superficie de 6 420 ha y equivalen al 6.68% de la superficie de la RBBM, por lo que no le repercutirá de forma significativa.

Sin embargo, los efectos negativos no suelen limitarse a las áreas inundadas y alre-

dedores, sino que pueden producirse aguas abajo, a varios kilómetros de distancia (López-Pujol, 2008). Es decir, en el río Almolón, donde desembocaría el tercer túnel, por lo que éste aumentaría su flujo; conocer a detalle los efectos de este incremento sobre determinadas especies y otros ecosistemas requirió de tiempo y recursos que excedieron las posibilidades de este trabajo.

*Método Batelle Columbus (MBC)**Valoración de los parámetros ambientales*

Se valoraron los parámetros seleccionados mediante criterios del MBC (cuadro 1) para las condiciones sin y con proyecto. En el cuadro 5 se muestra el ICA de cada parámetro obtenido,

Cuadro 5. Unidades de impacto (UIA) de cada parámetro ambiental y estimación cuantitativa del impacto neto para las condiciones sin y con construcción del túnel para desfogar el agua de la laguna Metztlán.

Categoría	Parámetros	ICA		IP	UIA		Impacto neto UIA _{neto con} - UIA _{neto sin}
		Sin	Con		Sin	Con	
Ecología	k_c	0	0.5	23.7	0	11.8	11.8
	k_{tnt}	0.4	0.5	23.7	9.5	11.8	2.4
	PC	0	0	23.7	0	0	0
	AA	0.2	0.2	23.7	4.7	4.7	0
	ICT	0.8	0.6	20.3	16.2	12.2	-4.1
	UT	0	0.6	20.3	0	12.2	12.2
	ERA	0	0.2	20.3	0	4.1	4.1
	DE	0	1	23.7	0	23.7	23.7
	ICT	0.6	0.4	20.3	12.2	8.1	-4.1
	ERA	0.2	0	20.3	4.1	0	-4.1
	CRL	0	0.25	20.3	0	5.1	5.1
	PHid	0.95	0	33.5	31.8	0	-31.8
	OD	0.3	0.5	51.9	15.6	26	10.4
	CF	0.2	0.3	30.2	6	9	3
	NI	0	0.005	41.9	0	0.2	0.2
	FI	0	0.075	46.9	0	3.5	3.5
	pH	0.5	0.7	30.2	15.1	21.1	6
	SDT	0	0.35	41.9	0	14.7	14.7
	Tu	0	0.2	33.5	0	6.7	6.7
	MoC	1	1	8.4	8.4	8.4	0
	ON	1	1	16.8	16.8	16.8	0
	OS	1	1	16.8	16.8	16.8	0
	PS	1	1	20.1	20.1	20.1	0
	ER	0.2	0.3	23.5	4.7	7	2.3
	CA	1	1	6.7	6.7	6.7	0
	MGS	0.2	0.2	8.7	1.7	1.7	0
	RCT	0.28	0.28	23.1	6.4	6.4	0
	OV	0	0.9	4.3	0	3.9	3.9
	PA	0	0.25	14.4	0	3.6	3.6
	ITA	0.1	0.8	23.1	2.3	18.5	16.2
	OMF	0.3	0.65	8.7	2.6	5.6	3
	ASA	1	0.55	14.4	14.4	7.9	-6.5
MAG	0.1	0.7	14.4	1.4	10.1	8.7	
DTV	0.2	0.7	13	2.6	9.1	6.5	
VCTV	0.6	1	7.2	4.3	7.2	2.9	
EC	0	0.2	21.7	0	4.3	4.3	
ECO	0	0.7	38.1	0	26.7	26.7	
GEO	1	1	32.2	32.2	32.2	0	
HID	0	0.7	32.2	0	22.6	22.6	
ICN	0	0.6	32.2	0	19.3	19.3	
OE	0	0.65	38.1	0	24.7	24.7	
IS	0	0.8	32.2	0	25.8	25.8	

Nota. Los componentes ambientales a los que corresponden los parámetros mencionados en este cuadro se presentan en el cuadro 1. PC = pesca comercial; AA = aves acuáticas; ICT = índice de cadena trófica; UT = uso de la tierra; ERA = especies raras o amenazadas; DE = diversidad de especies; CRL = carácter del río y/o de la laguna; PHid = pérdidas hidrológicas; OD = oxígeno disuelto; CF = coliformes fecales; NI = nitrógeno inorgánico; FI = fosfato inorgánico; SDT = sólidos disueltos totales; Tu = turbidez; ON = óxido de nitrógeno; OS = óxido de azufre; MoC = monóxido de carbono; PS = polvo en suspensión; ER = erosión; CA = contaminación auditiva; MGS = material geológico superficial; RCT = relieve y características topográficas; OV = olor y visibilidad; PA = presencia de agua; ITA = interfaces tierra-agua; OMF = olor y materiales flotantes; ASA = área de superficie de agua; MAG = márgenes arboladas y geológicas; DTV = diversidad de tipos de vegetación; VCTV = variedad en cada tipo de vegetación; EC = efectos de composición; ECO = ecológica; HID = hidrológica; GEO = geológica; ICN = integración con la naturaleza; OE = oportunidad de empleo; IS = interacciones sociales.

al ponderar el valor del parámetro con su respectiva función de transformación (Conesa, 2003) e IP como relevancia del parámetro en el sistema ambiental. Se calcularon con (7) las UIA de cada parámetro para las dos condiciones: sin y con proyecto y con (8) se calcularon sus respectivos impactos netos.

Determinación del Impacto Global

El Impacto Global de la construcción del túnel y obras de protección se valoró mediante la ecuación (9) como la suma de todos los parámetros, de la diferencia entre Unidades de Impacto Ambiental (UIA) en condiciones con y sin proyecto. Donde la diferencia en caso de tener signo positivo; se interpretó como un impacto positivo, todo lo contrario cuando el signo es negativo. Conforme éste se acerca al valor cero quiere decir que no hay un impacto significativo en el ambiente de llevarse a cabo el proyecto; situación inversa cuando más se aleja. En los casos en que se pudiera producir una alteración significativa, se colocó una señal de alerta como parte del método. En el cuadro 6 se presentan las UIA de las categorías Ecología, Contaminación, Aspectos Estéticos e Intereses Humanos para las condiciones sin y con proyecto, así como el Impacto Global debido a la construcción y operación del túnel.

Como se puede ver en el cuadro 6, el Impacto Global Neto debido al proyecto se obtuvo en valores absolutos de UIA (223.6); se

expresó en porcentaje del Impacto Global Neto máximo del proyecto que se pudiera generar y que se estimó en 1 000 UIA. Se multiplicó el Impacto Global obtenido por 100 y luego se dividió entre 1 000. Este procedimiento estimó el Impacto Global debido al proyecto en 22.4% del Impacto Global máximo que pudiera ocurrir.

El impacto neto es positivo para las cuatro categorías; Intereses Humanos muestra mayor beneficio con 119 UIA del total de 1 000, es decir, el 11.9% del impacto neto máximo. En el intervalo de impactos: baja significancia (0-25%), moderados (26-50%), severo (51-75%) y crítico (> 75%), el proyecto de la construcción del tercer túnel será de carácter significativamente bajo, al presentar 22.4% del Impacto 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 fauna que se afecta en el área de influencia del proyecto es baja, el sistema de alerta señala especial atención sobre ésta.

La Matriz de Importancia y el MBC actúan de manera diferente, pero ambos demuestran que el proyecto es de bajo impacto, al calcular un 22% de la importancia de impacto máxima en la fase uno y el 14% en la fase dos conforme la matriz de Importancia, contra el 22.4% del Impacto Neto Global del MBC. Se recomienda la formulación de un reglamento de operación del túnel, mismo que debe cuidar:

Cuadro 6. Valoración de los UIA correspondientes a las categorías ambientales.

	Ecología	Contaminación	A. estéticos	Intereses humanos	Totales/ impacto global neto
Señal de alerta	X				
Con proyecto	93.6	156.9	78.4	151.3	480.2
Sin proyecto	46.6	141.9	35.8	32.2	256.5
Impacto neto	47.0	15.0	42.6	119.0	223.6
Porcentajes					
Con proyecto	9.4	15.7	7.8	15.1	48.0
Sin proyecto	4.7	14.2	3.6	3.2	25.7
Impacto neto	4.7	1.5	4.3	11.9	22.4

- 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.

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 1 232.74, por posibles efectos en la biodiversidad que se encuentra en la laguna Metztlán, la que actualmente se encuentra en condición geo-hidrológica de subexplotación, pues la recarga es de 8 Mm³/año y se extraen 7.3 Mm³ para uso público (Conagua, 1998b). 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).

También se propone tomar acciones sobre el aumento de la capacidad de la laguna; 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 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 deben practicar obras de conservación.

Por su parte, el Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001) permite el desarrollo de infraestructura en la zona del proyecto (Unidad de Gestión Ambiental XI) de manera condicionada, por lo que al 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, 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 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 Metztlán, que depende en gran medida de la agricultura del DR-08, la que de acuerdo con el 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 Metztlán, así como de incomunicación, enfermedades y epidemias que surgen cuando ocurren estos eventos.
- Atenuar problemas sociales, como falta de trabajo y migración. Metztlán presenta fuerte migración; en 1980-1990 fue de cinco a diez mil habitantes (Gobierno del Estado de Hidalgo 2001).
- Controlar las inundaciones por avenidas extraordinarias en el municipio de Metztlán.
- Dar una solución ambientalmente viable a 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 nutrimentos 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.

Justificación del régimen de desfogue permisible ecológico de agua de la laguna Metztlán

Debido a que el túnel propuesto permitirá reducir la superficie de la laguna hasta la elevación 1 232.74 en 13 días para una avenida

de 250 m³/s y en 60 días para una avenida de 880 m³/s, a la disponibilidad media mensual del embalse se le restó el volumen que mantiene a esa cota (388.5 m³), para conocer los probables volúmenes mensuales de desfogue, aunque se desconoce si el túnel operará todo el año o sólo en periodo de lluvias.

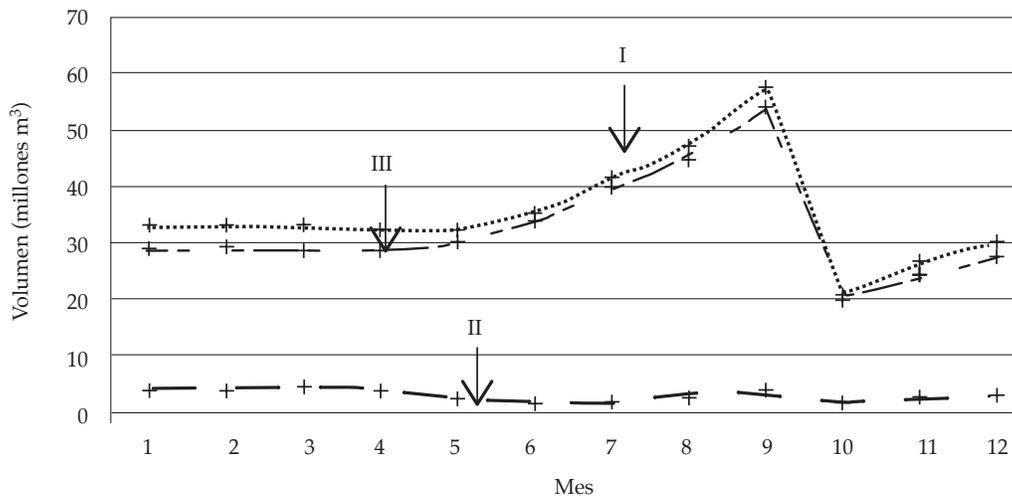


Figura 2. Relación probabilidad de excedencia-volumen derivado-disponibilidad. I = probabilidad de excedencia al 80%; II = volumen derivado; III = volumen de desfogue.

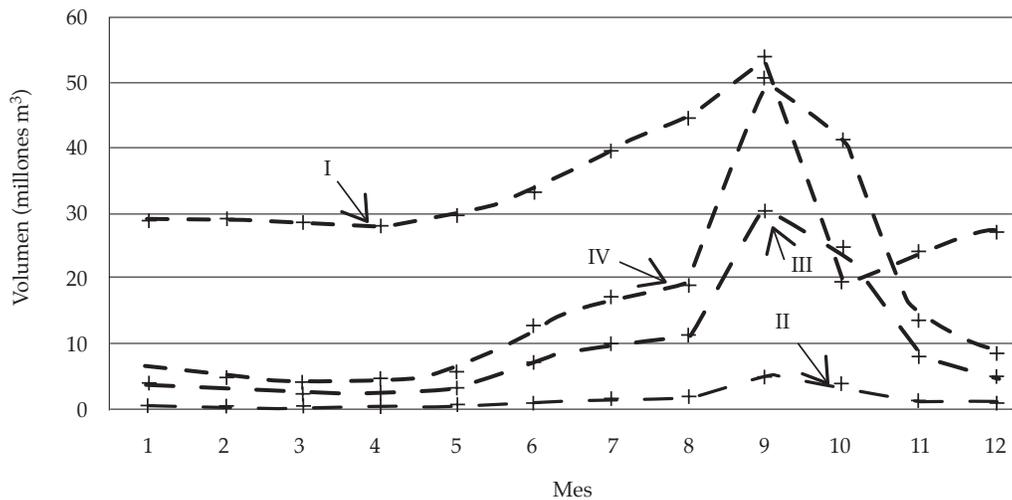


Figura 3. Relación disponibilidad, caudales medio mensuales y ambientales. I = disponibilidad; II = caudal ambiental mínimo del 10%; III = caudal ambiental rango óptimo del 60%; IV = escurrimiento medio.

En la figura 2 se muestran los escurrimientos de la laguna de Metztitlán, con una probabilidad de excedencia al 80%, el volumen medio mensual que se deriva del río para sostén del DR-08 y los probables volúmenes de desfogue.

Las curvas de volúmenes de desfogue y disponibilidad en la laguna son muy similares, por lo que en la figura 2 no se apreciaría la diferencia entre ambas, esto significa que la operación del túnel bajo esta condición reduciría significativamente el volumen de agua en la laguna y su superficie, de 581.3 ha a 0.059 ha (590 m²); se nota nuevamente la baja capacidad de almacenamiento del embalse.

En la figura 3 se observa que la disponibilidad promedio de la laguna en todo el año es mayor que el caudal rango óptimo-60%, menos en octubre. De éste a junio, la disponibilidad es inferior a 35 Mm³; octubre registra el menor volumen (casi 20 Mm³) y junio el mayor (33 Mm³). A partir de julio aumentó la disponibilidad; la más alta es en septiembre, con 54 Mm³.

Debido a los procesos de sedimentación que ocurren en la laguna, ésta tiene poca capacidad de almacenamiento y puede contener a la cota de desfogue propuesta (1 232.74), un volumen de 388.5 m³, que es inferior al caudal ambiental mínimo que propone el método Tennant.

Conclusiones

El impacto ambiental que pudiera producir la construcción y operación del túnel de desfogue de la laguna de Metztitlán se valoró con los métodos Matriz de Importancia y Batelle Columbus; se estimó en un rango de 14 a 22% el impacto máximo potencial posible, lo que significa que el impacto es de significancia baja; habrá más beneficios que perjuicios.

Para evitar impactos negativos en las poblaciones de aves acuáticas y migratorias, en los parámetros "Índices de cadena trófica", "Especies amenazadas acuáticas", entre otros, el túnel debería funcionar en tal régimen que

la superficie del agua en la laguna se mantenga cada año en los niveles que corresponden al 60% de los aportes medio mensuales que llegan a la laguna, según el análisis hecho con el método de Tennant.

Es de suponer que la construcción del tercer túnel pudiera producir impactos ambientales adicionales en el río Almolón, donde desembocaría el túnel. Sin embargo, dicha evaluación no se consideró en este trabajo.

Recomendaciones

Debido a que la zona del proyecto de inserta en un Área Natural Protegida, la Reserva de la Biosfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM), 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 al medio ambiente natural.
- 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 debería realizar un reglamento de operación del túnel, donde se comprometa a desfogar sólo los volúmenes excedentes al caudal ambiental correspondiente al rango óptimo que señala el método Tennant.
- Es necesario realizar 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.

- Es necesario promover estudios para medir la capacidad de amortiguamiento de la laguna y evaluar la posibilidad de eliminar el azolve, lo que aumentaría su capacidad de amortiguamiento y mitigaría las inundaciones.
- Se deben 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.

Agradecimientos

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

Recibido: 24/05/10
Aceptado: 10/01/11

Referencias

- AMADO, A.J.P. *Estudio integral de la calidad de agua en el marco de la ordenación de los recursos hídricos en la cuenca del río Amajac*. Tesis de doctorado. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados, 2006, 143 pp.
- BÓ, F.R. y MALVÁREZ, A.I. *Las inundaciones y la biodiversidad en humedales. Un análisis del efecto de eventos extremos sobre la fauna silvestre*. [en línea]. Montevideo, Uruguay, 1999. [Citado en marzo de 2010]. Disponible para *World Wide Web*: http://www.ege.fcen.uba.ar/gieh/PDF_MIOS/Rober_mab.pdf.
- BRUHN, T. and EKLUND, M. Environmental impact assessment a tool for sustainable development? A case study of biofuelled energy plants in Sweden. *Environmental Impact Assessment Review*. Vol. 22, 2002, pp. 129-144.
- CONANP. *Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán, México* [en línea]. México, D.F., Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2003. Fecha de revisión y cita: marzo-junio 2009. Disponible en *World Wide Web*: http://www.metztlan.com.mx/_ReservaBiosfera/ProgramaManejoRBM.pdf.
- CONABIO. *Procesos ecológicos en el paisaje* [en línea]. México, D.F., Comisión Nacional de Biodiversidad, 2009. Fecha de revisión y cita: marzo 2010. Disponible en *World Wide Web*: www.biodiversidad.gob.mx/region/procesosec.html.
- CONAGUA. *Plan de Riegos 2008-2009. Distrito de Riego 008 Metztlán, Hidalgo, México*. Metztlán, México: Comisión Nacional del Agua, 2008.
- CONAGUA. *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. Proyecto de consultoría. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, 2003, fecha de revisión: enero-noviembre de 2009.
- CONAGUA. *Programa Estatal Hidráulico 1996-2020 (cuadros básicos)*. México: Comisión Nacional del Agua, 1998a.
- CONAGUA. *Programa Estatal Hidráulico 1996-2020 (Texto)*. México: Comisión Nacional del Agua, 1998b.
- CONESA, F.V. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Tercera edición. Madrid: Mundi-Prensa, 2003, 412 pp.
- DEE, N., BAKER, N.J., DROBNY, K., DUKE, I. WHITMAN, I. and FAHRINGER, D. An environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*. Vol. 9, No. 3, 1973, pp. 523-535, doi: 10.1029/WR009i003p00523.
- ESPINOZA, G. *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago, Chile: Banco Interamericano de Desarrollo-Centro de Estudios para el Desarrollo, 2001, 183 pp.
- GARCÍA, M.E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, D.F.: Offset Larios, 1981, 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. México: Gobierno del Estado de Hidalgo, Estado de Hidalgo, México, 2001, fecha de revisión y cita: marzo de 2009.
- LÓPEZ-PUJOL, J. Impactos sobre la biodiversidad del embalse de las Tres Gargantas en China. *Ecosistemas*. Vol. 17, núm. 1, 2008, pp. 134-145.
- MONTERO, A.S. *Caracterización integral de lagunas del Estado de Hidalgo*. Tesis de Maestría. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados, 2008, 157 pp.
- RAMSAR. Lugar de publicación desconocido [en línea]. Ramsar Sites Information Service. Fecha de actualización: mayo de 2007. Fecha de cita: junio de 2009. Disponible en *World Wide Web*: www.ramsar.org/sitelist.doc.
- 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 de 2002, pp. 95-115.
- SARH-COLPOS. *Manual de predicción de pérdida de suelo por erosión*. Texcoco, México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados, Centro

- Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas, 1991, 150 pp.
- SEMARNAT. *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Inventario de emisiones*. [En línea]. México, D.F., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fecha de actualización: 28 de enero de 2010. Fecha de cita: marzo de 2010. Disponible en *World Wide Web*: www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire.
- SEMARNAT. 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, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002. Fecha de revisión y cita: 17 de marzo de 2009. Disponible en *World Wide Web*: <http://www.semarnat.leyes.normasvigentes>.
- TENNANT, D.L. In-stream Flow Regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *American Fisheries Society*. Vol. I, No. 4 (July), 1976, pp. 6-10. *World Wide Web*: [http://afsournals.org/doi/abs/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](http://afsournals.org/doi/abs/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2).
- ZHANG, J., ZHANG, Z.F., LIU, S.M., WU, Y., XIONG, H., and CHEN, H.T. Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration? *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 13, No. 01, 1999, pp. 134-145.

Abstract

MENDOZA, M., QUEVEDO, A., NIKOLSKII, I., RUBIÑOS, E. & HERNÁNDEZ, E. *Environmental impact and volume for the proposed tunnel in the Metztlán lagoon, Hidalgo, Mexico. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. II, No. 4, October-December, 2011, pp. 111-129.*

This investigation is aimed at assessing the possible environmental impact in the event of the construction of a third discharge tunnel in the Metztlán lagoon, in the Barranca de Metztlán Biosphere Reserve. An additional objective is to justify the discharge regime that would permit protecting the environment. This tunnel was designed by the National Water Commission (CONAGUA) in order to reduce flooding of Irrigation District 08, which occurs every 2.5 years, on average. This work applied two environmental impact assessment methods: the Matrix of Importance and that developed by Battelle Columbus, with which the potential impact on terrestrial and aquatic biodiversity in the Biosphere Reserve were qualitatively and quantitatively determined. The impact is assessed by means of 42 parameters for environmental conditions. It is estimated that the overall impact of the project would have little significance, though there would be some. The contribution of this investigation is the recommendation that the water discharge through the tunnel be done using such a regime, that each year the water area in the lagoon be maintained at levels corresponding to 60% of the mean monthly inflow into the lagoon in order to prevent negative impact and reduce those that are unavoidable.

Keywords: design, ecological status parameters.

Dirección institucional de los autores

M.C. Mayra Mendoza

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
Km 36.5 Carretera México-Texcoco, 56230, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9520 200
mendozac@colpos.mx

Dr. Abel Quevedo

Profesor Investigador Asociado
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
Km 36.5 Carretera México-Texcoco, 56230, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9520 200
anolasco@colpos.mx

Dr. Iouri Nikolskii

Profesor Investigador Titular
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
Km 36.5 Carretera México-Texcoco, 56230, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9520 200
nikolski@colpos.mx

Dr. Enrique Rubiños

Profesor Investigador Asociado
Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo
Km 36.5 Carretera México-Texcoco, 56230, MÉXICO
Teléfono: +52 (595) 9520 200
jerpki@colpos.mx

Dra. Elizabeth Hernández

Profesora Investigadora Asociada
Universidad Autónoma Chapingo
Km 38.5 Carretera México-Texcoco
56230 Chapingo, Estado de México, MÉXICO
Teléfono: (595) 9521 500
elizahac@hotmail.com