ISSN 0188-7297

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SCT
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS EN ESCURRIMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL

José Luis Hernández Michaca
Julieta Pisanty Levy
Víctor Manuel Sánchez Granados
Marco Antonio Carreón Méndez
Mauro Roladán Ortíz

Publicación Técnica No. 141
Sanfandila, Qro, 2000

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Impacto ambiental de proyectos carreteros en escurrimientos del agua superficial

Publicación Técnica No. 141
Sanfandila, Qro, 2000

Este trabajo fue desarrollado por la empresa Geología y Medio Ambiente, S.A. de C.V., bajo contrato con el Instituto Mexicano del Transporte, en el que intervinieron directamente el Ing. José Luis Hernández Michaca, Biol. Julieta Pisanty Levy, Ing. Víctor Manuel Sánchez Granados, Ing. Marco Antonio Carreón Méndez y Biol. Mauro Roldán Ortíz, consultores expertos de las áreas de Geología, Hidráulica, Biología y Química. El trabajo fue supervisado y complementado por investigadores del Area de Medio Ambiente de la Coordinación de Infraestructura del I.M.T., a cargo de los ingenieros Sergio Alberto Damián Hernández, América Martínez Soto y Rodolfo Téllez Gutiérrez.

Resumen

El presente documento tiene por objetivo dar a conocer los principales impactos ambientales que se generan en el agua superficial por la construcción de carreteras, así como sus correspondientes medidas de mitigación.

El trabajo contiene en la primera parte una descripción detallada de la metodología empleada para la realización, conceptos generales de Hidrología y descripción de las obras que conforman una carretera, así como las técnicas de identificación de impactos comúnmente utilizadas dentro de los estudios de impacto ambiental.

Una segunda parte del trabajo consistió en estimar la magnitud de los impactos, y para ello se llevó a cabo una regionalización, dividiendo a la República Mexicana en nueve regiones, que toman en cuenta la topografía y la precipitación pluvial principalmente.

Con la información desarrollada y obtenida en las dos primeras partes, se describen los impactos para cada una de las etapas de una carretera, desde el proyecto hasta su operación, proponiendo medidas de mitigación de acuerdo a la importancia estimada y se incluyen mapas y tablas para facilitar el manejo de la información.

Por último, se presentan algunas conclusiones y se proporciona la bibliografía utilizada.

Abstract

The main purpose of this paper, is to present the most importants environmental impacts which are produced on the superficial water flow by the differents steps in the process of road construction, and provide corresponding mitigation measures for those impacts..

The first part of this paper describes with detail the methodology employed, main concepts of Hodrology, steps for the constructions road and the common technics for identify of impacts in the environmental studies.

In the second part is estimated the impact relevances, for that was neccesary to divide the República Mexicana in nine regions, mainly involved the topography and pluvial precipitation.

Using the develop and obtained information in the two first parts, are described the impacts for each one of the road steps, from project to operation, proposing the mitigation measurements. Maps and tables are includes for information managements facilities.

Finally, this paper provides some conclusions, and information sources as a bibliography.

Introducción

Las obras para la construcción de carreteras incluyen actividades que repercuten en las aguas superficiales y subterráneas de diferente grado. En este trabajo, resultado del análisis de la literatura especializada más reciente, así como de la revisión de la mayor parte de las evaluaciones de impacto ambiental practicadas a los proyectos carreteros federales, se identifican los impactos sobre los dos factores ambientales señalados durante todas las etapas de desarrollo del proyecto.

En este trabajo se hace un análisis de las manifestaciones de impacto ambiental hasta hoy llevadas a cabo, con el objeto de reunir evidencias de las previsiones que se han estado tomando en cuenta, así como para reflexionar en torno al alcance de las técnicas de evaluación aplicadas. Adicionalmente, y para los fines del presente estudio, se llevó a cabo la regionalización del territorio nacional tomando en cuenta los factores ambientales relacionados con las dinámicas y situaciones que favorecen la ocurrencia de los impactos identificados.

Conceptos generales de hidrología

Esta parte del estudio plantea los conceptos básicos que deben tomarse en cuenta al analizar los impactos sobre el agua superficial y subterránea. Se hace especial énfasis en la necesidad de comprender los procesos hidrológicos (ciclo hidrológico) para pronosticar con fundamento los posibles impactos. Este proceso de análisis facilita la correcta delimitación del área de influencia del proyecto, la cual deberá incluir, cuando menos, los siguientes cuatro puntos:

1. Todos los cauces de las corrientes que atraviesan el derecho de vía de la carretera.
2. Todos los cauces de aquellas corrientes cuyas cuencas de captación abarcan el derecho de vía u obras de apoyo temporales o permanentes, incluyendo bancos de material, bancos de préstamo lateral y bancos de tiro.
3. Los cauces o cuerpos de agua, naturales o artificiales, que recibirán aporte de azolves o de contaminantes producto del desarrollo del proyecto carretero.
4. Todas aquellas superficies consideradas áreas de recarga cuyas propiedades de permeabilidad van a ser modificadas.

Técnicas de identificación de impactos

De acuerdo con el análisis que se hace de las técnicas de identificación de impactos que hasta ahora se han aplicado en diversos tipos de estudios, se llega

a la conclusión que es importante complementar los llamados métodos tradicionales con los sistemas de información geográfica en los estudios de impacto para carreteras, debido a que son obras lineales y no puntuales como la mayoría de las obras o actividades evaluadas en los estudios de impacto ambiental, lo que determina que puedan extenderse a lo largo de diversas unidades ambientales (por ejemplo, cuencas hidrológicas).

No obstante, esta recomendación debe ir acompañada de la sugerencia de destinar mayores recursos económicos a las evaluaciones de impacto ambiental, lo que además sería oportuno para la realización de estudios sólidamente fundamentados que eliminen las situaciones de controversia social en que han llegado a encontrarse este tipo de proyectos.

Impactos ambientales identificados y medidas de mitigación

Los impactos identificados más importantes inducidos por la construcción de carreteras a las corrientes superficiales y subterráneas, son los que se relacionan con la limpieza, nivelación o rellenos del terreno: pérdida de la capa vegetal, modificación de patrones naturales de drenaje, cambios en la elevación del agua subterránea local, incremento en la erosión y sedimentación de los ríos y lagos. Muchos de estos impactos pueden surgir, no sólo en el sitio de construcción de la carretera, sino también en los bancos de material y áreas de almacenamiento de materiales para el proyecto.

Los efectos directos se resumen básicamente en cuatro situaciones posibles: (1) modificaciones en el flujo de agua superficial y subterránea, (2) efecto barrera, (3) impermeabilización de las áreas de recarga de acuíferos y (4), cambios en la calidad del agua. Un aspecto importante a tener en cuenta es que los sistemas acuáticos constituyen un vector de transmisión de impactos (p.e. los contaminantes); por lo tanto cualquier alteración directa que se produzca inducirá efectos en puntos cercanos y/o alejados, cuyas consecuencias son difíciles de prever y cuantificar.

Las actividades del proyecto que ocasionan impactos en el agua subterránea específicamente, son varias: la construcción del cuerpo de la carretera, la desviación temporal o permanente de caudales, impermeabilización de superficies; así como las consecuencias de estas actividades, erosión hídrica debido a que el agua sigue temporalmente otro cauce, arrastre de partículas y contaminantes (aditivos para la conservación de la vía y vertidos accidentales de combustibles).

El efecto barrera para las corrientes de agua superficial es uno de los impactos potenciales más importantes que se pueden producir. Se puede generar un aumento de los riesgos de inundación que alcanzan especial relevancia en la zona sureste del país, donde la posibilidad de avenidas es mayor. El efecto de corte no se reduce a las aguas superficiales, sino que también puede afectar a los acuíferos libres cuyo nivel estático está cercano a la superficie del terreno, por las excavaciones debidas a la construcción de zanjas y cunetas, entre otras obras que requieran excavación, produciendo un descenso de los niveles piezométricos y afectando localmente el nivel freático.

Otro aspecto que puede verse afectado es la recarga de los acuíferos. Las aguas de escorrentía que no se infiltran suelen ser conducidas a un cauce fluvial, con lo que la tasa de infiltración se reduce considerablemente; otro tanto ocurre si esta agua es conducida a zonas impermeables, donde la tasa de infiltración es nula.

La desviación temporal o permanente de caudales es otra de las acciones del proyecto que puede tener incidencia. Estas desviaciones producen un cambio en los sistemas de escorrentía y en la organización de las aguas superficiales que repercute a muy distintos niveles, como pueden ser los procesos locales de erosión-sedimentación y la vegetación riparia, entre otros.

La calidad del agua puede verse afectada durante las etapas de construcción y de operación. En la primera, los principales parámetros que pueden modificarse son los sólidos disueltos y en suspensión y los nutrientes (debido a los movimientos de tierra) así como las grasas e hidrocarburos (por vertidos accidentales en las zonas de almacenamiento y maquinaria pesada). Durante la etapa de operación los principales contaminantes son los derivados de la deposición de las emisiones atmosféricas, principalmente partículas y plomo, y los de conservación de la vía, entre los que se incluyen diversos herbicidas. Durante esta fase también pueden ocasionarse vertidos ocasionales en los accidentes y derrames de aceites y grasas.

Las medidas de mitigación para cada impacto en particular se describen inmediatamente después de la explicación del impacto y de las actividades que lo provocan.

Regionalización de impactos

El objetivo principal de la regionalización que en este estudio se realizó es el de proporcionar una herramienta que permita diferenciar la importancia de los impactos ambientales en diferentes zonas del país, dependiendo de su topografía, morfología, fisiografía, tipo de materiales, origen de éstos, precipitación pluvial y

patrón de drenaje. Del análisis a los conceptos anteriores, resultó dividir al país en tres grandes morfologías: Sierra, lomeríos y planicies, las cuales contemplan cualquier tipo de topoforma que se manifiesta en nuestro país (plano 1). Del mismo modo, se dividió al territorio nacional en tres grandes áreas de acuerdo a sendos rangos de precipitación (0 a 600 mm, 600 a 2000 mm y mayor a 2000 mm), las cuales definen a las zonas desérticas, templadas y lluviosas del territorio (plano 2).

De la combinación de las seis regiones identificadas, se obtienen 9 subregiones (plano 3), en las que se identificaron y dimensionaron los impactos generados por las obras carreteras a las corrientes superficiales y subterráneas.

La forma en que se manifiestan los principales impactos identificados en las nueve regiones en que se practicó el presente análisis se explica a continuación:

- ***Azolve de cauces y cuerpos de agua***

Este impacto se manifiesta de forma más significativa en las regiones de sierra con precipitación superior a 600 mm. La modificación de relieves con mayor pendiente, en zonas con gran precipitación, tiene una consecuencia más acusada sobre la dinámica erosiva y por lo tanto, favorece el azolvamiento de los cauces y cuerpos de agua. Dicha transformación del relieve ocurre con mayor grado durante la etapa de construcción, pero ocurre de manera temporal. Por lo tanto, es más adverso durante la etapa de operación y mantenimiento, en la que la inducción de los procesos erosivos es permanente.

- ***Modificación del patrón natural de drenaje***

Los escurrimientos son físicamente más pronunciados en los lugares montañosos expuestos a promedios mayores de precipitación pluvial anual. Por lo tanto, la modificación de los cauces y relieves por motivo de las obras constructivas ocasiona efectos más adversos en tales regiones.

- ***Contaminación***

Las fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas durante la etapa de construcción, son la maquinaria y equipo que opera con ese fin; y durante la etapa de operación, los vehículos que transitan sobre la carretera y la maquinaria y equipo que se emplean para el mantenimiento.

El efecto de dilución será mayor bajo condiciones de precipitación pluvial elevada y topografía accidentada, lo que trae por consecuencia un menor impacto atribuido a la contaminación. Dicha situación se presenta en la región I (sierra con precipitación mayor a 2000 mm).

Por su parte, es en la región IX, con características de planicie y baja precipitación (menor dilución), donde se dan las condiciones para que los efectos del impacto por contaminación sean mayores.

- ***Disminución de la recarga vertical de los acuíferos***

En comparación con otras regiones fisiográficas, las sierras son consideradas zonas de mayor recarga debido a que las capas de suelo son más delgadas y menos compactas. Por ello, el impacto descrito como la disminución de la recarga vertical del acuífero, alcanza grados más significativos en las zonas de sierra (I, II y III) y se va haciendo menos prominente conforme la región es más plana y con menos lluvia.

- ***Uso desmedido de fuentes de suministro***

Este impacto es de mayores consecuencias en las regiones que comparativamente, dentro de la geoforma que le corresponde, poseen un volumen menor de precipitación media anual (III, VI y IX), lo cual hace más escaso el recurso del agua. Durante la etapa de construcción en las regiones de sierra, es más probable que se tenga que echar mano de las corrientes naturales como fuente de suministro, debido a la dificultad de acceder con autotanques y menos con infraestructura temporal.

Por lo tanto, dentro de estas regiones el impacto es de mayor incidencia en la que posee promedios anuales de precipitación pluvial menores a 600 mm.

- ***Efecto barrera***

Se considera que este impacto se manifiesta durante la etapa de operación, es decir, una vez que la carretera se ha constituido en un obstáculo definitivo para el patrón natural de drenaje.

La interrupción del curso normal de los escurrimientos es más abrupta en las regiones de mayor pendiente y con mayor precipitación (I, II y III), es decir, el efecto barrera es mayor. En estas regiones los escurrimientos son de mayor caudal y no obstante las obras hidráulicas con que se equipe a la carretera, este

impacto puede hacerse evidente, ya sea por la disminución o la desviación de dicho caudal.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis realizado en el presente estudio, se llega a la conclusión que los efectos de la infraestructura carretera en la hidrología, se pueden minimizar y en algunos casos inhibir si se cuenta con un Proyecto Completo y un Buen Proyecto, por lo que se recomienda cumplir siempre con estas dos premisas para lograr un proyecto carretero socialmente justo, económicamente viable y ecológicamente adecuado.

En la mayoría de los casos es posible detectar con anticipación los impactos sobre el agua superficial y subterránea. La evaluación de los impactos y la determinación de la medida preventiva o correctiva que le corresponde requiere, para un mayor fundamento, de otro tipo de técnicas. Durante las revisiones a las Manifestaciones de Impacto Ambiental, se detectaron documentos con un importante fundamento ambiental, sobre todo en aquellas que de algún modo se han visto en medio de controversias.

En muy pocos casos se propone la modificación del trazo carretero como medida ambiental decisiva y por lo mismo se fundamentan poco los criterios de selección del sitio. Por esta razón es conveniente que cuando la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuente con análisis previos que soporten la selección del trazo de un proyecto, deben incluirse con claridad variables ambientales, de manera que la rectificación de un trazo por estos motivos represente una ventaja claramente expuesta en la evaluación de impacto ambiental. Del análisis regional de los impactos se concluye que es necesario incorporar este tipo de criterios desde la delimitación del área de influencia, a pesar de que se trate de una manifestación de modalidad general, ya que la extensión longitudinal del proyecto puede justificar un análisis más detenido de las unidades ambientales implicadas. De la correcta delimitación de estas unidades dependerá el curso de la evaluación, ya que entra en juego un mayor número de variables e interacciones. De ahí que se recomiende la aplicación de más de un método en los estudios.

Finalmente, se presenta una tabla resumen que relaciona la etapa del proyecto, el impacto identificado, las medidas de mitigación propuestas y el valor máximo y mínimo asignado, de acuerdo a la subregión donde se ubica el proyecto carretero. La etapa del proyecto es el período en que se manifiesta el impacto identificado, es decir, preparación del sitio, construcción y operación y mantenimiento.

El impacto identificado es la afectación a las corrientes superficiales o subterráneas. Algunos de estos impactos se originan en una etapa y se mantienen en las subsiguientes, por lo que las medidas a aplicar y los valores asignados cambian debido a que las condiciones que los originaron son diferentes. Por esta razón no se repite el impacto, sino que se mantiene durante dos o tres etapas del proyecto carretero. Las medidas de mitigación son las acciones recomendadas para disminuir o inhibir los impactos identificados.

Los valores máximos y mínimos asignados en esta tabla resumen provienen de una matriz de interpretación que sirvió para comparar el grado de significancia de los impactos en las 9 subregiones. Para evaluar el comportamiento de los impactos en función de estas variables ambientales, se aplicó una escala de 9 grados correspondiendo el 1 a la situación en que el impacto es menos adverso y el 9 a la de un mayor deterioro. Este análisis también tomó en cuenta la etapa en que se desarrolla el proyecto, con lo que se logra incorporar con ello un criterio de temporalidad.

A continuación se presentan los resultados de este análisis comparativo, tanto de la tabla matriz y las subregiones, como las tablas resumen con los resultados finales de los impactos y sus medidas de mitigación.

MATRIZ DE INTERPRETACION REGIONAL DE IMPACTOS

		SUBREGIONES								
ETAPA	**IMPACTO**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**
PREPARACION DEL SITIO	Azolve de cauces y cuerpos de agua	4	4	4	3	3	2	2	1	1
	Modificación del patrón natural de drenaje	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	Contaminación	1	1	2	2	2	1	3	3	2
	Uso desmedido de fuentes de suministro	5	6	6	3	4	5	1	2	3
CONSTRUCCION	Azolve de cauces y cuerpos de agua	7	6	6	6	5	5	5	4	4
	Modificación del patrón natural de drenaje	5	5	5	4	4	4	4	3	3
	Contaminación	4	4	4	5	5	6	7	6	5
	Disminución de la recarga de los acuíferos	5	4	4	3	3	2	2	1	1
	Uso desmedido de fuentes de suministro	8	8	**9**	6	7	7	5	5	6
OPERACION Y MANTENIMIENTO	Azolve de cauces y cuerpos de agua	**9**	**9**	8	8	8	7	7	7	7
	Contaminación	6	6	6	7	7	7	7	8	**9**
	Disminución de la recarga de los acuíferos	**9**	**9**	**9**	**9**	8	6	5	5	5
	Uso desmedido de fuentes de suministro	5	5	6	3	4	5	2	3	3
	Efecto barrera	**9**	8	8	7	6	6	5	5	5

IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
P R E P A R A C I O N D E L S I T I O			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas. • Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales. • Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza.	4/I, II, III	1/VIII, IX
Modificación del patrón natural de drenaje	• Respetar siempre que sea posible el patrón de drenaje natural. • Las desviaciones de caudales superficiales deben evitarse en lo posible, encauzándose las aguas de escorrentía a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes.	2/I, II, III, IV, V	1/VI, VII, VIII, IX

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO
(Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
P R E P A R A C I O N D E L S I T I O			
Contaminación	• Mejorar las medidas de seguridad tendientes a evitar accidentes y derrames accidentales. • Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad, para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique. • Debe haber una cerca que impida el acceso y un techo que evite que el agua de lluvia incorpore derrames a los escurrimientos superficiales. • Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales, sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad. • Reunir y reciclar los lubricantes y evitar los derrames mediante buenas prácticas. • Proporcionar letrinas correctamente ubicadas y mantenidas. • Realizar y llevar a cabo procedimientos para el transporte, almacenamiento y dotación de combustibles en el derecho de vía durante la etapa de preparación del sitio. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	3/VII, VIII	1/I, II, VI
Uso desmedido de fuentes de suministro	• Evaluar la posibilidad de encausar el agua pluvial captada por las obras de drenaje hacia terrenos con sistemas de fracturamiento densos, a fin de infiltrar el agua al subsuelo. Esto, con fundamento en estudios geológicos detallados.	6/II, III	1/VII

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO (Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
C O N S T R U C C I O N			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas. • Utilizar todo el material de despalme o en su defecto enviarlo a aquellos bancos de material que no se utilizarán durante la etapa de operación para restaurarlos y así evitar que sea incorporado a las corrientes por el agua pluvial. Este material puede utilizarse para darle la forma requerida a los taludes de los frentes de explotación. • Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales. • Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza. • De preferencia enviar el material sobrante a los bancos de material para almacenarse allí hasta el momento de restaurarlo, • Proteger las superficies susceptibles a los procesos exógenos con estiércol y paja o tela, y sembrar las áreas sujetas a la erosión tan pronto sea posible. • Dar cumplimiento a lo establecido en el inciso 044-F.01 de las normas para los trabajos diversos de las estructuras y obras de drenaje de la SCT.	7/I	4/VIII, IX
Modificación del patrón natural de drenaje	• El diseño deberá apegarse en lo posible al patrón de drenaje natural, es decir, evitar la desviación o interrupción de las corrientes superficiales. • En caso de encauzar las escorrentías se deberán llevar a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes. • Construir las alcantarillas y obras de subdrenaje, conforme a lo establecido en las especificaciones No. 30 a 32 de localización y dimensionamiento de las “Normas para construcción e instalaciones de carreteras y autopistas.- Estructuras y obras de drenaje, de la SCT.		

IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO
(Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
C O N S T R U C C I O N			
Contaminación	• Establecer medidas de seguridad específicas para evitar accidentes y derrames accidentales de combustibles. • Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique. • Cuidar que la empresa que presta el servicio de letrinas tenga sus permisos en orden y cuente con un sitio adecuado para la disposición final de estos residuos. • Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales, sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	7/VII	4/I, II, III
Disminución de la recarga vertical de los acuíferos	• Los aplanados que se hagan durante estas actividades generarán una modificación irremediable de la permeabilidad del suelo, afectando de manera permanente la infiltración vertical. • Se recomienda que las áreas de derecho de vía estén libres de construcciones, para lo cual deberá existir una supervisión permanente.	5/I	1/VIII, IX
Uso desmedido de fuentes de suministro	• Con anterioridad a la utilización de cualquier cuerpo de agua como fuente de suministro, deberá explorarse el uso que se le dé en las comunidades cercanas, para no obstruir ninguna actividad productiva. • El responsable del proyecto deberá supervisar mediante procedimiento los volúmenes de agua utilizados para no incurrir en usos excesivos.	9/III	5/VII, VIII

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO
(Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
O P E R A C I O N Y M A N T E N I M I E N T O			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• El responsable de las labores de mantenimiento deberá seguir un programa riguroso para las obras de control de la erosión, así como de la infraestructura de drenaje. • Desde el diseño deberá preverse que la construcción e instalación de estructuras de drenaje cuenten con las especificaciones de las normas en la materia, elaboradas por la SCT. • Cumplir con lo recomendado en la norma 046-B "Plantación de especies vegetales" de la SCT en cuanto a que las especies vegetales tales como pastos, rastreras, trepadoras, cactáceas y arbustivas, se emplearán para el control de la erosión.	9/I, II	7/VI, VII, VIII, IX
Contaminación	• Controlar el vertido de aceites y grasas a la hora de la limpieza de motores. • Formular planes y medidas de emergencia para los vertidos accidentales. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	9/IX	6/I, II, III
Efecto barrera	• Supervisar continuamente el funcionamiento de las obras especiales que se hayan construido para mitigar los efectos sobre los escurrimientos y la hidrodinámica en general, tales como cunetas, canales o presas. • El cumplimiento con las medidas de mitigación fundamentadas en las normas de construcción de obras y estructuras de drenaje de la SCT, mencionadas para el caso de los impactos por azolve y modificación del patrón de drenaje, contribuirá también a mitigar las consecuencias del efecto barrera.	9/I	5/VIII, IX

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS EN ESCURRIMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL

I N D I C E

	RESUMEN	V
	ABSTRACT	VII
	RESUMEN EJECUTIVO	IX
	INTRODUCCION	3
1	METODOLOGIA	6
2	CONCEPTOS GENERALES DE HIDROLOGIA	10
	2.1.- Ciclo Hidrológico	11
	2.2.- Escurrimientos	12
3	DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE CONFORMAN UNA CARRETERA	18
	3.1.- Clasificación de los Caminos	18
	3.2.- Selección del Sitio	20
	3.3.- Preparación del Sitio	22
	3.4.- Construcción	23
	3.5.- Operación y Mantenimiento	38
	3.6.- Normatividad de Carreteras	39
4	TECNICAS DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS	40
	4.1.- Técnicas de Aplicación Actual	40
	4.2.- Técnicas Complementarias	46
5	IDENTIFICACION DE IMPACTOS Y MEDIDAS DE MITIGACION	54

5.1.- Etapa de Selección y Preparación del Sitio 54
5.2.- Etapa de Construcción 59
5.3.- Etapa de Operación y Mantenimiento 70

6 REGIONALIZACION DE IMPACTOS 79

6.1.- Metodología 79
6.2.- Regiones 83
6.3.- Características 87
6.4.- Análisis Regional de los Impactos 88

7 CONCLUSIONES 99

BIBLIOGRAFIA 104

INTRODUCCION.

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) se ha dado a la tarea de analizar el costo-beneficio de las obras y proyectos carreteros de jurisdicción federal, desde el punto de vista del desarrollo sustentable, es decir, con el objeto de sintetizar un marco de referencia teórico-práctico para la evaluación ambiental de los futuros proyectos.

Debido a su importancia para las comunicaciones del país, la red de carreteras debe ser una infraestructura cuyo trazo, construcción y uso, incorpore criterios ambientales. Ello tendrá como finalidad contar con caminos construidos de manera integrada al ambiente y con mayor durabilidad.

Los beneficios socioeconómicos proporcionados por la construcción de caminos y carreteras, incluyen la confiabilidad bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo. La concentración de trabajadores locales en el proyecto en sí, el mayor acceso a la atención médica y otros servicios sociales y el fortalecimiento de las economías locales. Sin embargo, los nuevos caminos y carreteras pueden producir complejos impactos negativos. Los impactos de los proyectos de rehabilitación y mantenimiento, aunque usualmente son más limitados aún pueden ser importantes, no sólo para los recursos y sistemas naturales, sino también para el medio ambiente social y cultural.

La evaluación del impacto ambiental es un procedimiento que se ha venido aplicando a los proyectos carreteros desde principios de la década pasada. El procedimiento se ha venido modificando conforme se ha consolidado la legislación ambiental, hasta llegar al momento actual en el que se rige por el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, son los instrumentos jurídicos que norman la aplicación de manifestaciones de impacto ambiental para los proyectos carreteros de carácter federal, es decir, los que lleve a cabo la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como las carreteras concesionadas a particulares.

Debido al esquema de descentralización de la gestión ambiental, implantado en nuestro país desde 1988 a través de la ley y el reglamento mencionados, en cada estado de la república debe procederse a evaluar el impacto ambiental atribuible a los proyectos carreteros locales o que hayan sido concesionados por la autoridad local a particulares.

En el ámbito federal se encuentra en elaboración la guía metodológica a la que deberán apegarse las manifestaciones de impacto ambiental de obras carreteras, en tanto, los estudios se llevan a cabo conforme a lo establecido en las guías vigentes que rigen los tres niveles actuales de análisis: general, intermedio y específico.

Las carreteras y autopistas entran en el tipo de proyectos lineales que por su longitud pueden tener distintas implicaciones en el medio físico, natural y socioeconómico. En particular, las consecuencias que pueden ocasionar sobre el agua superficial y subterránea van desde modificaciones al cauce, afectaciones a la calidad del agua, abatimiento a niveles freáticos, principalmente, que en mayor o menor medida pueden manifestarse en las distintas etapas dependiendo de las características del ambiente.

Los objetivos principales del presente documento son los siguientes:

- Describir el impacto ambiental ocasionado por proyectos carreteros en las aguas superficiales y subterráneas, a partir del análisis de experiencias previas en el país.

- Establecer un marco general de análisis para caracterizar el impacto ambiental en función de unidades y regiones ambientales.
- Revisar los aspectos en que se fundamentan las medidas de mitigación recomendadas, con el objeto de ofrecer alternativas más eficaces.

1 METODOLOGIA.

Con el objeto de cumplir con los términos de referencia del estudio y específicamente con los objetivos arriba mencionados, se reunió a un equipo de especialistas de las áreas de geología, ingeniería civil y biología, todos ellos con experiencia dentro del campo de la evaluación del impacto ambiental de diversos proyectos, incluidos los carreteros.

Una vez integrado el equipo de trabajo se diseñó la ruta crítica y los productos de análisis esperados para cada etapa.

Para llegar a las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, se llevaron a cabo las siguientes etapas:

- Recopilación bibliográfica.

Se realizó una recopilación en instituciones de educación públicas y privadas de documentos que contienen la información teórica sobre hidrología (superficial y subterránea), geología, estabilidad de taludes y geomorfología. Esta información permitió fundamentar técnicamente todos los impactos ambientales identificados.

De igual forma, se consultaron todos los estudios de impacto ambiental a proyectos carreteros que se encuentran disponibles en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y en el Instituto Nacional de Ecología (INE), así como estudios de proyectos carreteros realizados en otros países (vía internet). Con esta información se realizó un listado de todos aquellos impactos ambientales que afectan al agua superficial y subterránea durante el desarrollo de proyectos carreteros.

Adicionalmente, se recopiló información teórica de estudios de impacto ambiental para seleccionar las metodologías y técnicas más aplicables para identificar y evaluar impactos de proyectos carreteros.

- Descripción de obras.

Se describen las actividades que se realizan para las obras de un proyecto carretero. La descripción detallada de estas actividades permite a los especialistas identificar los posibles impactos que se pueden presentar por el desarrollo de las obras.

- Inventario de impactos ambientales de estudios previos.

Con toda la información bibliográfica de estudios anteriores y teórica se realizó un listado de todos los impactos ambientales que se identificaron en ellos durante las diferentes etapas que se llevaron a cabo en el desarrollo de proyectos carreteros analizados.

- Selección de impactos ambientales.

Se realizó una selección de impactos ambientales, aquellos que carecieron de fundamento científico o que fueron identificados erróneamente, no se consideraron en el presente estudio. Se evaluaron las metodologías empleadas en los estudios que se detectaron y se verificó si las mismas aplicaban para proyectos carreteros y para las características predominantes en la región, como son: condiciones meteorológicas, tipo de corrientes, pendientes, procesos geomórficos y profundidad al manto freático.

- Identificación de impactos ambientales no considerados en estudios anteriores.

El equipo multidisciplinario, constituido para el presente proyecto aplicó técnicas diferentes a las utilizadas en los estudios recopilados, con lo que se identificaron impactos ambientales que no fueron considerados hasta el momento.

También se identificaron, a partir de la información bibliográfica teórica y de la experiencia, impactos ambientales que se pueden presentar en otras condiciones (climatológicas, geográficas, topográficas, etc.) diferentes a las presentes en el desarrollo de los proyectos analizados.

Con lo anterior se elaboró un listado de impactos ambientales definitivo que se presenta en el agua superficial y subterránea.

- Regionalización.

La regionalización que se propone en el presente estudio tiene por objetivo el proporcionar una herramienta que permita diferenciar la importancia de los impactos ambientales en las diferentes zonas del país dependiendo de su topografía, morfología, tipo de materiales, origen de éstos, precipitación pluvial y patrón de drenaje, por lo que se analizaron cada uno de éstos aspectos de manera que se pudiera zonificar el territorio nacional. La zonificación resultante fueron 9 subregiones, producto de la sobreposición de un mapa morfológico con tres regiones (planicie, lomerío y sierra) y un mapa de precipitación con tres rangos de lámina de agua (0 a 600, 600 a 2000 y mayor de 2000 mm).

- Evaluación de impactos ambientales.

Posteriormente, se revisó la evaluación de los impactos ambientales realizados en los estudios recopilados, considerando las metodologías empleadas para dimensionarlos y aplicando nuevas en algunos casos.

- Proposición de medidas de mitigación.

Una vez identificados y evaluados los impactos ambientales se propusieron las medidas que eviten, minimicen o compensen dichas afectaciones tomando en consideración la dimensión del impacto, su temporalidad, su intensidad, así como la diferencia que presenta la alteración en las diferentes regiones geográficas del país.

2. CONCEPTOS GENERALES DE HIDROLOGIA.

La hidrología es una ciencia que estudia la ocurrencia, distribución, movimiento y propiedades de toda el agua que se encuentra en la tierra y sus relaciones con el medio ambiente. Para el entendimiento de los principios de esta ciencia, se recurre a la descripción del ciclo hidrológico, el cual es un proceso continuo mediante el cual el agua es transportada desde los océanos a la atmósfera, de ésta a la tierra y posteriormente regresada al mar, teniendo lugar durante el proceso múltiples subciclos, tales como la evaporación del agua desde la parte continental y su precipitación subsecuente sobre la tierra para regresar al océano (ver figura 2.1).

El ciclo integral del agua es global en la naturaleza y los problemas en esta materia a nivel mundial requieren de estudios en escalas regionales, nacionales, internacionales y continentales.

Dado que la cantidad total de agua disponible en la tierra es finita e indestructible, el sistema hidrológico global puede considerarse como dentro de un entorno cerrado. Una versión más generalizada del balance hidrológico explicará las diferentes componentes del ciclo hidrológico, las cuales pueden definirse topográficamente, limitarlas políticamente o especificarlas arbitrariamente.

Desde este punto de vista, un valle o cuenca del drenaje está topográficamente definido como el área drenada por un río/corriente o sistema de ríos/corrientes conectados de tal manera que todo el flujo es descargado a través de una sola salida. En general, los estudios en cuanto a recursos hidráulicos siempre han sido realizados en valles o cuencas de drenaje, debido a que de esa manera se simplifica la aplicación del balance hidráulico.

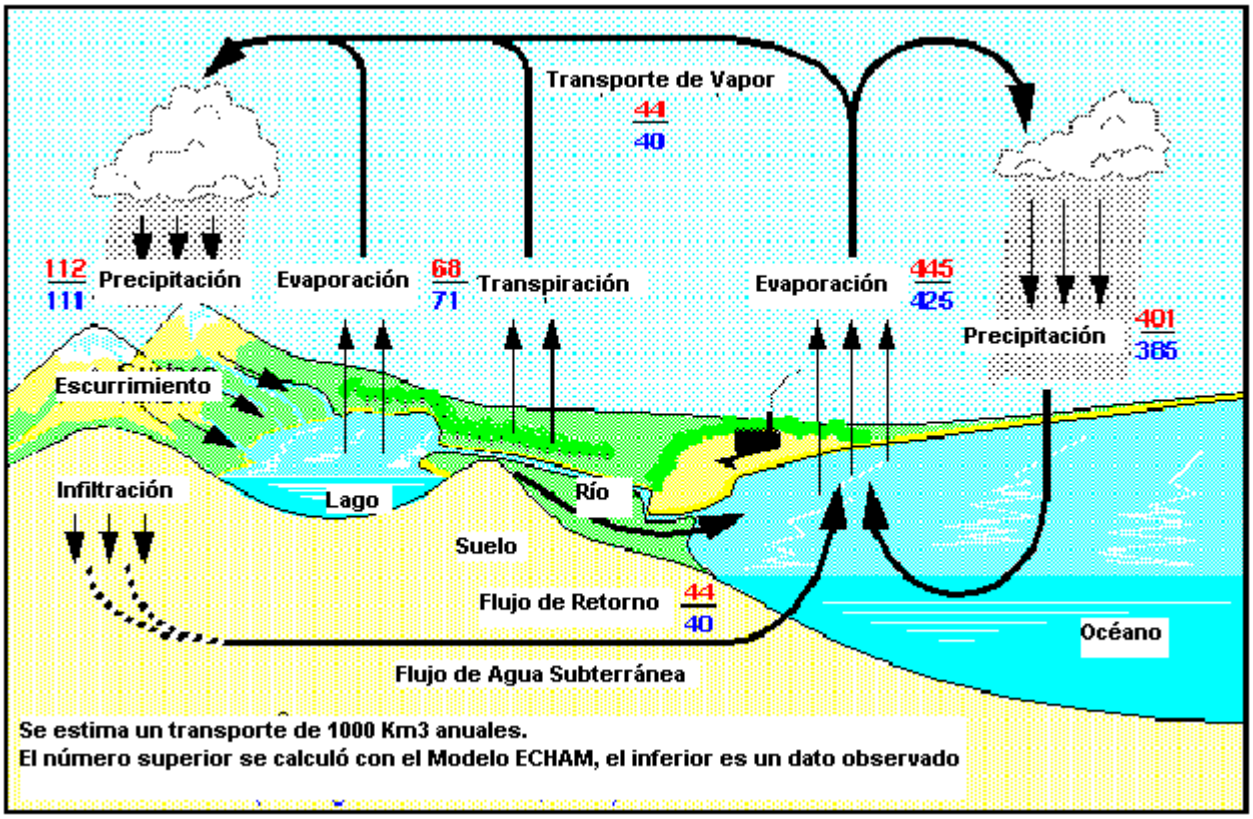


Figura 2.1 Ciclo Hidrológico

2.1 Ciclo hidrológico.

Un modelo conceptual del ciclo hidrológico explica lo siguiente: La precipitación en forma de lluvia, nieve y demás, proviene del vapor de agua atmosférico y constituye la entrada primaria. En la figura 2.1 se puede observar de manera gráfica el ciclo del agua.

Algo de la lluvia pude ser interceptada por árboles, pasto, otro tipo de vegetación y objetos estructurales, siendo eventualmente devuelta a la atmósfera por evaporación. Una vez que el agua alcanza al suelo, parte de ella llenará las depresiones topográficas, parte puede penetrar al suelo para satisfacer su deficiencia de

humedad y alimentar a las reservas subterráneas; el resto del agua formará el escurrimiento superficial, esto es, fluirá sobre la superficie de la tierra definiendo canales tales como las corrientes.

El agua que entra al suelo puede seguir varias trayectorias, una parte de ella puede ser evaporada si se mantiene una adecuada transferencia entre el suelo y la superficie. Esto puede ocurrir fácilmente en aquellos sitios en donde la superficie del agua subterránea (superficie de agua libre) está dentro de los límites de transporte por capilaridad hacia la superficie del suelo y después abastecer a los almacenamientos de agua subterránea, los cuales mantienen a las corrientes durante las épocas de estiaje.

Importantes cantidades de agua subterránea se encuentran fluyendo en forma vertical antes de que lleguen a la zona saturada, después de lo cual pueden ser transportadas distancias considerables antes de ser descargadas. El movimiento de agua subterránea está sujeto a restricciones físicas y geológicas.

El agua almacenada en las depresiones podrá eventualmente evaporarse o infiltrarse. El escurrimiento superficial empieza por formar canales menores (arroyuelos, arroyos y corrientes similares), fluye a corrientes mayores y ríos y finalmente llega al océano. A lo largo de una corriente, procesos de evaporación e infiltración pueden tener lugar.

2.2 Escurrimientos.

Por ser de principal importancia para el caso de la construcción de carreteras, se dedica un apartado especial a los escurrimientos. El escurrimiento es la parte de la precipitación, así como de cualquier otro flujo contribuyente, drenada por las corrientes superficiales de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las

corrientes proviene de diversas fuentes y, con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial y subterráneo.

El superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que ésta cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se denomina precipitación en exceso.

El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero que se mueve sobre el horizonte superior del mismo. Esto puede ocurrir cuando exista un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del suelo. En general, si es inmediato, se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial; en caso contrario, se le considera como escurrimiento subterráneo.

Este último es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra através del suelo, una vez que éste se ha saturado. La contribución del escurrimiento subterráneo al total varía muy lentamente con respecto al superficial.

Para analizar el escurrimiento total, puede considerársele compuesto por los escurrimientos directo y base. Este último proviene del agua subterránea y el directo es originado por el escurrimiento superficial. En la figura 2.2 se muestra el ciclo del escurrimiento, indicando las diferentes fases entre la precipitación y el escurrimiento total.

La consideración anterior tiene como finalidad distinguir la participación de cada escurrimiento. A la salida de una cuenca, en el caso de tener una corriente perenne, mientras no ocurra tormenta alguna, por dicha corriente sólo se tendrá escurrimiento base debido al agua subterránea; al originarse una tormenta, si la cuenca es

pequeña, casi inmediatamente se tendrá también escurrimiento directo. Ahora bien, el efecto de la tormenta se manifiesta directamente sobre el escurrimiento total y puede suceder que se requiera bastante tiempo para que el agua que se infiltra, y que pasa a formar parte del agua subterránea, sea drenada.

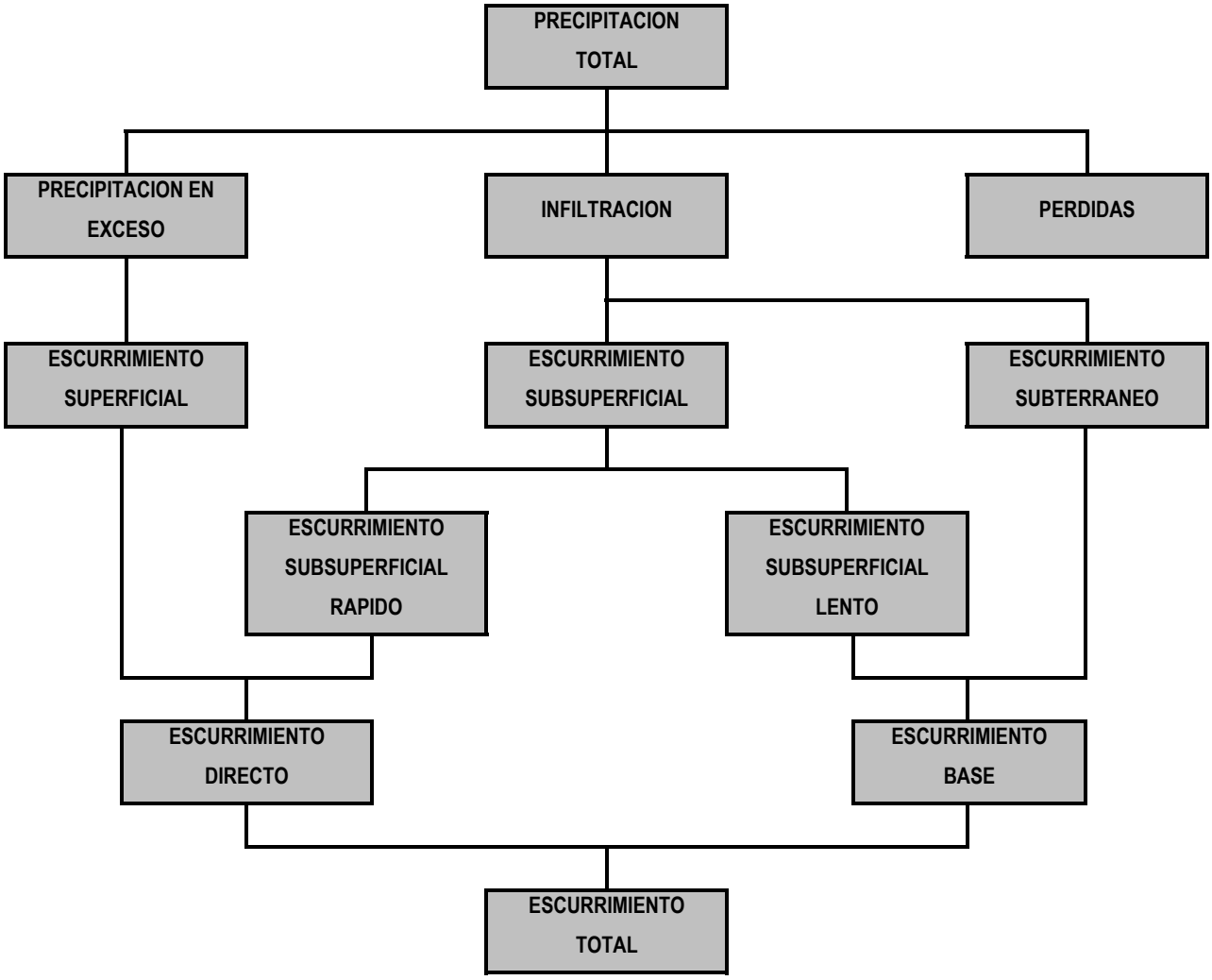


Figura 2.2 Ciclo del escurrimiento.

Algunos de los términos usados para la descripción de la hidrología superficial y subterránea son imprecisos, por lo que a continuación se dan algunas definiciones al respecto.

Acuicludo. Formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, no la trasmite y por lo tanto no es posible su explotación.

Acuífero. Estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para satisfacer sus necesidades.

Acuitardo. Formaciones geológicas que conteniendo apreciables cantidades de agua la trasmiten muy lentamente, por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos.

Aguanieve. Mezcla de lluvia y nieve que incluye también gránulos de hielo.

Cauce. Canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento.

Caudal. Volumen de líquido que pasa através de una sección por unidad de tiempo.

Cuenca. El territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien, el territorio donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar.

Embalse subterráneo. Medio poroso natural (formación geológica) de dimensiones muy variables, capaz de almacenar en sus poros un fluido y de permitir su movimiento bajo la acción de fuerzas gravitatorias.

Escorrentía. Volumen de agua que pasa por una sección del cauce de un río en un determinado tiempo.

Granizo. Esferas o fragmentos de hielo, blancos o translúcidos, generalmente en forma hexagonal.

Gránulos de hielo. Aglomeraciones transparentes o translúcidas de hielo con diámetro menor al de la nieve.

Humedecimiento del suelo. Volumen de agua procedente de las precipitaciones que no discurre sobre la superficie del suelo, dando origen a la escorrentía superficial.

Infiltración. Volumen de agua que procede de las precipitaciones (a veces también de los ríos o de la recarga artificial) en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes.

Lago. Depósito natural de agua delimitado por la cota de la creciente máxima ordinaria.

Llovizna. Numerosas gotas pequeñas de agua, con un diámetro menor a 0.5 mm, uniformemente distribuidas y que tienen suficiente peso como para precipitarse en la superficie terrestre.

Niebla. Nube sobre la superficie terrestre que consiste en una acumulación visible de gotas diminutas de agua suspendidas en la atmósfera.

Permeabilidad. Es una medida de la factibilidad que tiene el agua de moverse en acuíferos y acuitardos.

Porosidad. Es la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total.

Recarga natural. Es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo, durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua.

Virga. Agua y partículas de hielo que se precipitan pero se evaporan antes de llegar a la superficie terrestre.

3. DESCRIPCION DE LAS OBRAS QUE CONFORMAN UNA CARRETERA.

3.1 Clasificación de los caminos.

De acuerdo con el Programa Nacional para la Modernización de la Infraestructura Carretera 1995-2000, los caminos se clasifican en brechas, caminos revestidos y pavimentados. Existen varios tipos de caminos pavimentados, desde el D que es el más modesto de los caminos de 2 carriles con corona de 6 m, hasta los caminos de carriles múltiples proyectados y construidos con altas especificaciones. A continuación se describen los tipos de caminos.

Brechas.

Son vías de comunicación improvisadas que carecen de especificaciones técnicas y por lo mismo sólo son transitables en algunas épocas del año.

Caminos revestidos.

Este tipo de comunicación tiene terracerías reducidas y obras de drenaje elementales, generalmente permanentes. Hay de dos clases:

- Camino rural: cuenta con una sección de 4.0 m y una capa de revestimiento de 20 cm de material de granulometría gruesa.
- Terracería revestida: se les considera como paso previo a la pavimentación, con una sección entre 6 y 7 m, y una capa de revestimiento de material compactado de 20 a 30 cm de espesor.

La función de estos dos tipos de caminos es vincular pequeñas localidades a la red carretera del país; por sus características modestas son obras de longitud reducida y permiten el acceso a zonas de producción potencial.

Caminos pavimentados.

- TIPO A: Posee 2 carriles de circulación, carpeta de 7.30 m de ancho y acotamientos revestidos de 2.00 m de ancho o mayores en ambos lados del camino. Cuenta con control parcial de accesos y entronques a nivel. Este tipo de camino tiene la misma función del tipo B pero está diseñado para recibir mayor tránsito pesado.

- TIPO A-2: La sección es igual al camino tipo A, con la diferencia de que tiene los acotamientos pavimentados. Asimismo, cuenta con control parcial de accesos y entronques a nivel. Su función es la misma del camino tipo A, cuando es libre. Cuando es de cuota requiere de protección en el derecho de vía, pasos a desnivel y especificaciones más rígidas de proyecto y construcción.

- TIPO A-4: Camino pavimentado de 4 carriles considerado como autopista, con cruces a desnivel y accesos controlados. Consta de 2 cuerpos de 2 carriles tipo A-2 cada uno. Las autopistas son obras que se construyen en zonas desarrolladas para ofrecer fluidez y seguridad a elevados tránsitos entre centros urbanos importantes o en la cercanía de grandes ciudades; por sus características geométricas ofrecen mejor servicio a los usuarios, reduciendo los tiempos de recorrido y los costos de operación.

- TIPO B: Posee 2 carriles de circulación, carpeta de 7.30 m de ancho y con acotamientos revestidos menores de 2.00 m de ancho en ambos lados del camino. Cuenta con control parcial de accesos y entronques a nivel. Estos caminos son el prototipo de las carreteras troncales cuya función es vincular la economía nacional a los principales centros urbanos del país, incluyendo las capitales de los estados, las poblaciones fronterizas y los puertos marítimos.

- TIPO C: Posee 2 carriles de circulación, carpeta de 6 a 7.30 cm de ancho y sin acotamientos. Su función es la de ser alimentadores y complementarios a la red troncal y están bajo jurisdicción de la administración estatal para su mantenimiento y construcción.

En la figura 3.1 se muestran esquemáticamente los caminos pavimentados.

3.2 Selección del sitio.

Los criterios básicos en la selección del sitio que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes adopta en este momento, son los siguientes: conseguir la mínima distancia sin exceder la pendiente máxima ni tener menor curvatura a las correspondientes a una velocidad de proyecto, afectar lo menos posible a los habitantes de la zona que aloje el proyecto y ocasionar las mínimas modificaciones de los recursos, en particular de la vegetación natural existente.

Los estudios preliminares consisten en reconocimientos de campo, toma de fotografía aérea, trabajos topográficos para definir la geometría de la obra, así como trabajos geotécnicos para determinar algunos aspectos de los taludes en cortes y terracerías, así como la localización de bancos de materiales de posible utilización en la construcción. Los equipos utilizados en campo son GPS, teodolitos y distanciómetros, así como barretas, martillos y sondas utilizadas para observar diferentes horizontes de suelo y subsuelo.

Para este apartado se describirán los principales impactos ambientales que se presentan comúnmente en el desarrollo de proyectos carreteros, así como otros impactos potenciales que también pueden presentarse en las diferentes etapas.

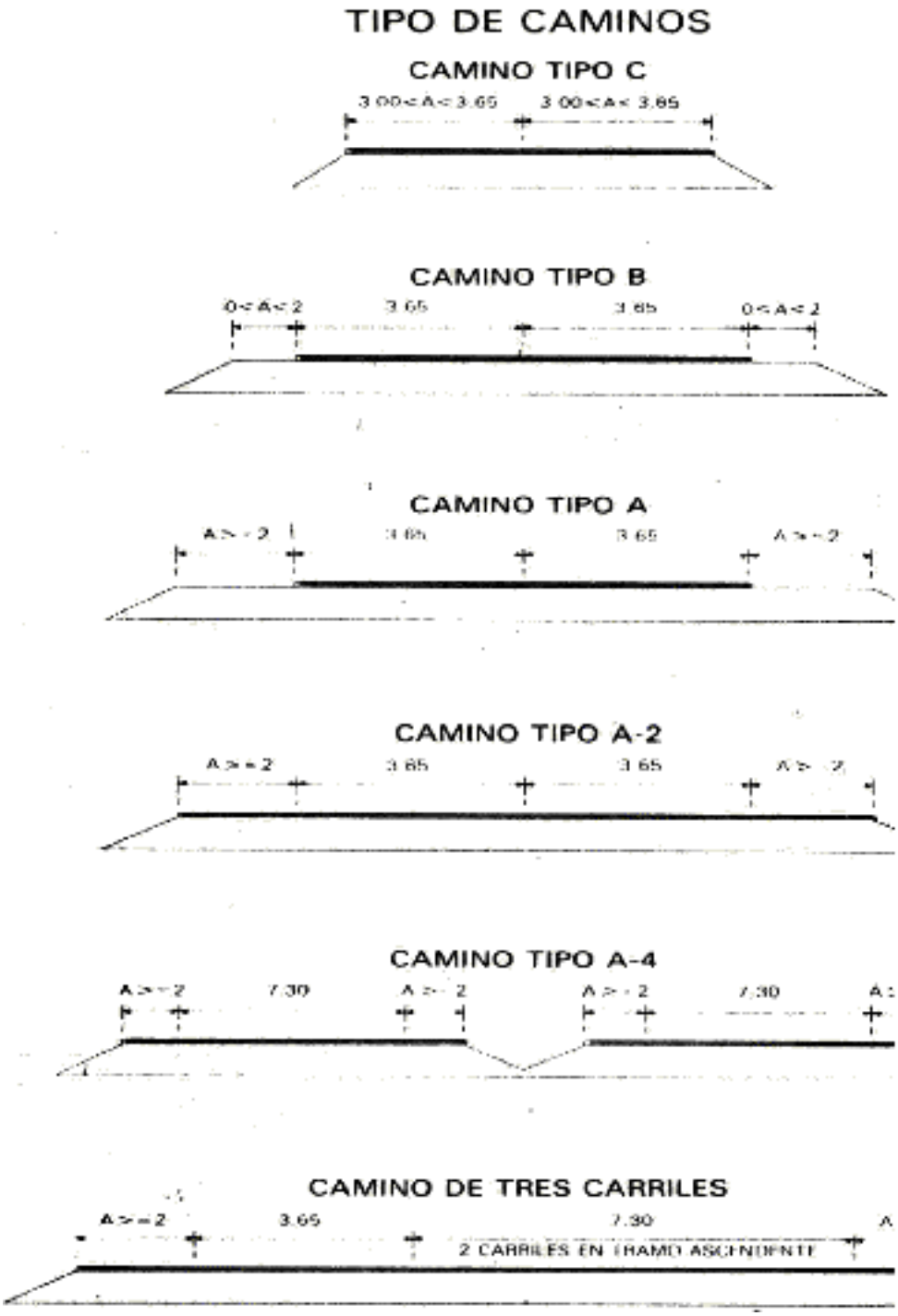


Figura 3.1 Tipología de caminos pavimentados.

3.3 Preparación del sitio.

La preparación del sitio consiste en el trazo de los principales ejes de la carretera y el de sus obras complementarias, la limpieza y despalme del terreno, la habilitación de las brechas de acceso tanto a la obra como a los bancos de materiales, así como la adecuación de superficies necesarias para campamentos, almacenes de materiales, oficinas de campo y patios de servicio para la maquinaria de construcción.

La habilitación de las brechas existentes consiste en el tendido y compactación de materiales de base, proveniente de alguno de los bancos de préstamo o la conformación del material existente. En cualquier caso se pretende conseguir una superficie de rodamiento que permita a los camiones materialistas desplazarse a velocidades próximas a los 45 km/h. En el caso de ocupar terracerías existentes el trabajo generalmente consiste en proveer el mantenimiento diferido que evidencie la vialidad.

La adecuación de superficies para almacenes y patios de maquinaria se consigue mediante la nivelación y compactación somera del terreno, construcción de una zanja perimetral para drenaje pluvial y el cubrimiento del suelo con grava y/o suelo-cemento. Estas obras de apoyo son de uso temporal.

La última etapa de la preparación consiste en el desmonte y despalme de la zona afectada por la obra y en el resto del derecho de vía.

3.4 Construcción.

Terracerías.

La construcción de las terracerías se forma basándose en cortes y rellenos hechos con maquinaria de construcción. Los cortes se dan en las partes de topografía alta y el material de ahí extraído es transportado a las zonas bajas. El material es bandeado o compactado en diferentes grados. El déficit entre el material proveniente de los cortes y el necesario para la formación de los terraplenes es completado con material proveniente de bancos de material.

Sobre el suelo que ocupará la carretera se forman capas de materiales de diferentes características, a las que se da diferente grado de compactación, alcanzando en las capas superiores el 100% y terminando con la superficie de rodamiento. Los materiales de la base, sub-base y carpeta, son materiales graduados y preparados que provienen de los cortes hechos, de bancos de materiales seleccionados y de plantas de preparación de mezcla asfáltica o concreto. En las fotografías 1 y 2, se pueden observar dos aspectos de los bancos de material.

El ataque de los materiales en los bancos y en los cortes se hace con tractores y excavadoras, transportado en camiones de volteo para formar terraplenes. En todos los casos, el cuerpo del terraplén se compacta al 90% o se bandea según sea el caso; las capas de transición y subrasante se compactan al 95 y 100% respectivamente, grados de compactación referidos a la prueba Proctor o Porter. Después de haber efectuado el despalme, el piso descubierto se compacta al 90% de su peso volumétrico seco (PVSM) en una profundidad mínima de 0.20 m.

Foto 1 Maquinaria en la Explotación de un Banco de Materiales.

Foto 2 Vista de un Banco de materiales en Explotación.

Obras especiales.

Existen otras obras que por su trascendencia y costo, se designan como obras especiales, estas se pueden agrupar en: puentes, entronques, casetas de peaje y pasos a desnivel. Estas obras están constituidas a partir de mampostería, concreto armado y terminados basados en materiales especiales, similares a los empleados para la construcción de inmuebles urbanos.

Esta construcción se lleva a cabo con materiales importados a la zona y provenientes en su mayoría de industrias establecidas en otras regiones, excepción hecha de agregados pétreos y agua.

En la construcción de terracerías, obras de drenaje y obras especiales, se utiliza por lo común el siguiente equipo:

- Tractores.
- Retroexcavadoras.
- Cargador neumático.
- Cargador de oruga.
- Compactadores.
- Motoconformadoras.
- Vibrocompactadores.
- Finisher.
- Track-Drill.
- Compresores.
- Trituradora.
- Planta de asfalto.
- Petrolizadoras.
- Generadores de energía eléctrica.
- Barredoras.

- Camiones esparcidores.

Obras de drenaje.

El ataque de los problemas del drenaje superficial y del control de la erosión debe comenzar con el estudio del trazado. Los trazados ideales desde el punto de vista del drenaje, deberían seguir a lo largo de las divisorias entre grandes zonas de drenaje. Así, todas las corrientes fluirían alejándose de la carretera y el problema del drenaje quedaría reducido a tener cuidado del agua que cae sobre la carretera y sus taludes.

Por el contrario, los trazados que van paralelamente a las grandes corrientes son mucho menos convenientes, ya que cruzan todos los afluentes en los lugares donde estas son más grandes. Los trazadores ideales evitan las pendientes pronunciadas y los desmontes rápidos, así como los terraplenes, ya que éstos crean difíciles problemas en el control de la erosión. Debe admitirse que el drenaje superficial es solamente una consideración entre muchas tomadas en cuenta en el trazado de las carreteras, pero merece una especial atención.

Una vez que la localización de una carretera se ha establecido, el tratamiento de los problemas de drenaje superficial entra en dos puntos básicos: (1) hidrología – estimación de las velocidades máximas de escurrimiento que se van a manejar, y (2) diseño hidráulico - selección de las clases y tamaños de los servicios de drenaje para recibir los escurrimientos estimados.

A continuación se describen las principales consideraciones hidrológicas para el trazo de una carretera. Cuando las zonas del drenaje son mayores, crecientes cantidades de agua alimentan las corrientes produciendo la inundación, y este “almacenamiento de cauce” hace más lento el flujo del agua corriente abajo. Por estas y otras razones, la determinación del escurrimiento máximo a partir de los registros de la precipitación pluvial es difícil.

Las incertidumbres inherentes para predecir el escurrimiento a partir de los registros de lluvias, no serían importantes si pudiera disponerse de registros tomados durante largo tiempo y en toda la extensión del país, con respecto al flujo proveniente de áreas representativas de drenaje. Sin embargo, en la actualidad tales registros existen solamente para las corrientes mayores. Sólo recientemente se han hecho intensos esfuerzos para medir las máximas afluencias en gran número de pequeñas corrientes. Por necesidad, la construcción de carreteras destruye los patrones de drenaje establecidos. Los cortes del camino interceptan aguas que anteriormente se han movido sobre la tierra a través del derecho de vía. Además, el flujo de varias corrientes puede recogerse y llevarse bajo la carretera en una sola localización (ver foto 3).

Foto 3 Alcantarilla con Problemas de Socavación

Frecuentemente las corrientes son desviadas a canales que difieren de sus predecesores en su longitud, su sección transversal y sus características de flujo. Estos ejemplos muestran que casi todo cambio desequilibra los balances establecidos por innumerables tormentas anteriores. En particular, existe la

posibilidad de una mayor velocidad de flujo que puede acarrear una erosión costosa y de mala apariencia. La erosión crea a su vez arrastres que se transportan corriente abajo y se depositan en puntos donde la velocidad disminuye.

Una regla cardinal en el diseño del drenaje podría muy bien ser que los patrones de drenaje existentes se cambiaran tan poco como fuera posible. Los cambios necesarios no deben en ningún punto crear velocidades que originen nuevos problemas de erosión. El no tomar en cuenta esta sencilla regla ha creado muchos problemas serios en el mantenimiento, y lo que es peor, ha hecho los alrededores de muchas carreteras bastante desagradables a la vista.

El agua que queda en estanques a lo largo de la carretera crea a veces peligros para la salud por proporcionar un sitio de generación de mosquitos. Además, el agua extraída de las zanjas de los lados del camino por acción capilar puede reblandecer la plantilla y contribuir a fallas en el pavimento.

Drenaje del camino.

El agua que cae sobre el camino fluye lateralmente u oblicuamente al mismo, bajo la influencia de la pendiente transversal o sobreelevación en el pavimento y banquetas. Cuando el camino queda en terraplén, la práctica más común es dejar que el flujo continúe hacia fuera de la banqueta y hacia debajo de la pendiente lateral al terreno natural.

Se origina poca erosión si las pendientes están protegidas por césped o si el agua fluye a través del camino y pendiente abajo en la forma de una lámina. Cuando las pendientes no están protegidas, pueden deslavarse mucho, si las irregularidades en el pavimento o banquetas concentran el agua en pequeñas corrientes. Un lugar igualmente posible para tales concentraciones lo constituyen los puntos bajos de curvas verticales cóncavas. En la fotografía 4 se puede apreciar el efecto de la erosión al suelo por falta de una buena obra de drenaje.

Foto 4 Erosión en Taludes.

Una técnica para evitar el deslave de las pendientes laterales es retener el agua en el borde externo de la banqueta. Otra, para pavimentos de concreto, emplea un labio bajo moldeado en el borde externo de la losa del pavimento. En este caso, el flujo al vaso de recepción o a otro dispositivo recolector se hace a lo largo del pavimento mismo.

Cuando los caminos se encuentran en desmonte, el agua del camino y la de los taludes se recoge en una cuneta al lado del camino, comúnmente de sección transversal, trapezoidal o triangular. Las dimensiones, la pendiente y otras características de esta cuneta se determinan mediante el flujo que va a pasar. Debe tenerse un cuidado particular cuando las cunetas del lado del camino descargan para evitar la erosión de la base del talud del terraplén.

La cuneta interceptora, algunas veces llamada zanja de corona, puede ser empleada en la parte superior del talud. Evita la erosión del talud por escurrimiento superficial de la ladera que queda por encima del mismo. Es una práctica común el construir zanjas de corona como canales continuos y sencillos colocados a una corta distancia cerro arriba con respecto a la parte superior del talud. Este procedimiento debe utilizarse con la mayor precaución, o de otro modo es posible que se origine la erosión.

Canales.

Uno de los métodos para controlar la socavación cuando todo el flujo debe ser retenido en la zanja, consiste en dejar caer el agua hacia debajo de la pendiente a la zanja del lado del camino por medio de canales o conductos especialmente diseñados. El diseño está basado en los principios del flujo en canales abiertos. El objetivo en el diseño de canales es encontrar la sección transversal más barata para construirse y mantenerse. Las pendientes laterales de 2 a 1, o menos, son esenciales, excepto en la roca o en otros materiales duros, o cuando el canal está revestido (ver foto 5).

Foto 5 Canal para Control de Socavación.

Diques.

Los diques son terraplenes de tierra empleados para contener o dividir el flujo de las corrientes. Cuando toda la construcción debe estar por encima del nivel de la tierra existente, se utilizan diques solos. Sin embargo, frecuentemente, la combinación de dique y canal representa la solución más económica, ya que el dique puede hacerse del desperdicio del canal.

Las caras no protegidas de los diques, expuestas al agua que se mueve rápidamente están sujetas a la erosión. Las instalaciones de protección de bancadas, de roca y arbustos alojados en canastillas de alambre, han probado ser efectivas en las pequeñas corrientes.

Debe tenerse un cuidado especial para extender la canastilla a una distancia por debajo del lecho de la corriente, de modo que el agua no pueda cortarla por debajo.

Donde las carreteras cruzan corrientes anchas o avenidas en llanura, una parte del cruce se hace sobre un puente, el resto, sobre terraplenes de aproche. Los contradiques generalmente paralelos a la dirección de la corriente, a menudo se usan para dirigir el flujo hacia el puente.

Cuando se construyen diques para el flujo de una corriente, la necesidad de la protección superficial puede algunas veces eliminarse, colocando el dique a una distancia hacia atrás del canal propiamente dicho. Entonces un área de aguas muertas amortigua la bancada y evita el socavamiento.

Alcantarillas.

Bajo este concepto se define a prácticamente todos los conductos cerrados empleados para el drenaje de las carreteras, con la excepción de los drenajes de tormenta. Los tipos de alcantarillas más comunes se muestran en la figura 3.2.

Para las aberturas más pequeñas se emplean tubos de tamaños comerciales con el arco rebajado como un substituto, cuando el espacio es limitado. Para las aberturas más grandes, se utilizan generalmente alcantarillas de caja de paso sencillo o múltiples, aunque algunas veces se prefieren uno o más tubos de gran diámetro, de concreto reforzado o placas metálicas unidas con pernos.

Las alcantarillas de puente sustituyen a las de caja cuando la cimentación no es erosionable y se hace innecesario un piso pavimentado. Las alcantarillas de arco pueden ser económicas bajo elevados rellenos donde la carga es pesada.

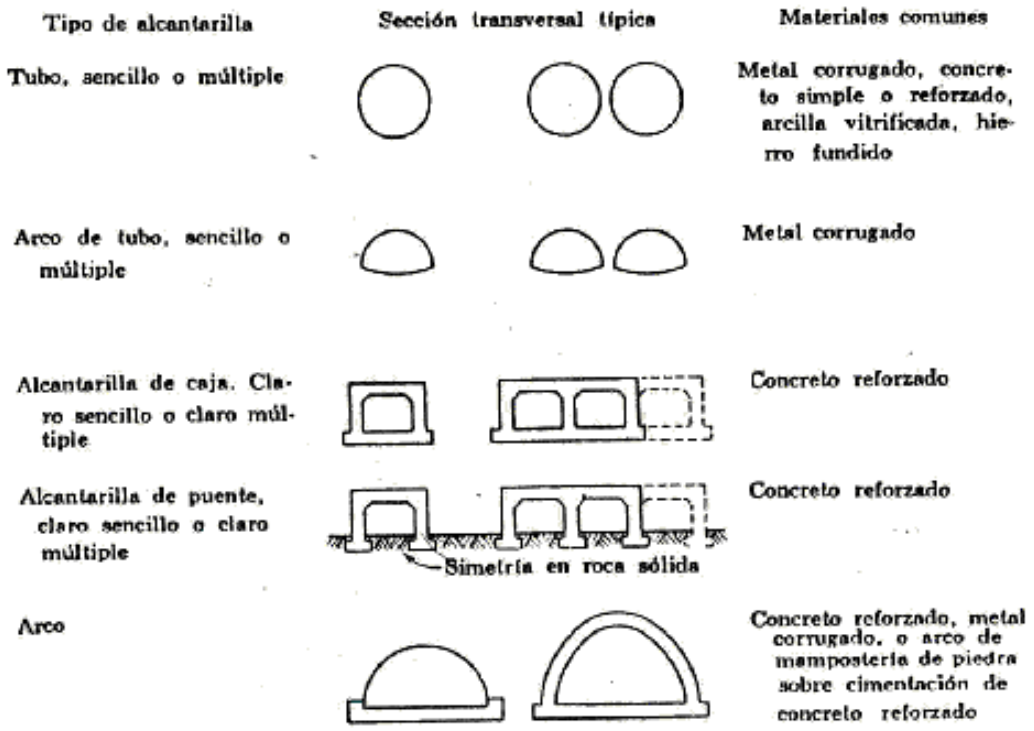


Figura 3.2. Alcantarillas

Dentro de las “Normas para la construcción e instalaciones de estructuras y obras de drenaje” de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, existen especificaciones de las alcantarillas de lámina corrugada de acero (norma 030), definiéndolas como aquellas que se construyen con una o varias líneas de tubos o arcos de lámina corrugada de acero. Los aspectos más importantes de esta norma a tener en cuenta son:

- Salvo indicaciones contrarias al proyecto y/o de la Secretaría, no se emplearán tubos con diámetro menor de 75 cm en la construcción de alcantarillas.
- Las dimensiones, forma y número de placas, calibre de lámina, recubrimiento adicional, bandas de acoplamiento, remaches, pernos, grapas y demás características, serán fijadas en el proyecto y/u ordenadas por la Secretaría.
- Cuando lo fije el proyecto y/o lo ordene la Secretaría, la lámina galvanizada deberá tener un recubrimiento adicional para protegerla contra la erosión o la

corrosión, consistente en una doble capa de cemento asfáltico, aplicada por el procedimiento de inmersión.

Esta norma también incluye especificaciones en cuanto a dimensiones de grapas y pernos. En lo concerniente a la excavación se hacen las siguientes recomendaciones:

a. La excavación deberá tener una ancho igual al diámetro del tubo más una holgura de 50 cm a cada lado, que permita la compactación del material de relleno. Se procurará que las paredes de la excavación sean tan cercanas a la vertical como el terreno lo permita.
b. El fondo de la excavación en que se asiente el tubo deberá estar exento de raíces, piedras salientes, oquedades u otras irregularidades.
c. Cuando no se pueda perfilar la excavación para asentar adecuadamente la alcantarilla, la excavación deberá llevarse hasta una profundidad de 20 cm abajo del nivel fijado para la plantilla y esta excavación excedente se rellenará con material adecuado, compactando al 90% para asentar los tubos.
d. Cuando haya agua corriente o filtraciones durante la colocación de los tubos, el agua deberá desviarse temporalmente, ya sea por medio de canales, por bombeo o por otro procedimiento.

La norma número 31 contiene el mismo tipo de indicaciones para el caso de las alcantarillas tubulares de concreto.

Por su parte, la norma número 32 se refiere a los subdrenes. Estos se definen como elementos de un sistema de drenaje subterráneo cuya función es captar, colectar y desalojar el agua del terreno natural, de una terracería o de un pavimento, de acuerdo con las características fijadas en el proyecto y/u ordenadas por la Secretaría. Los tipos de subdrenes son:

a. En zanja.
b. Capas permeables.

c. Trincheras.
d. De penetración.
e. Pozos de alivio.
f. Galerías filtrantes.

Los aspectos más relevantes de esta norma son:

- Las arenas y/o gravas para formar los filtros en los subdrenes, serán limpias y constituidas por partículas resistentes.
- La piedra que se utilice deberá ser de buena calidad, sana, homogénea y durable.
- Los tubos que se empleen en los subdrenes, excepto en los de penetración, llevarán cuatro hileras de perforaciones, dos a cada lado en forma simétrica con relación al eje vertical.
- Salvo indicación de lo contrario, tendrán un diámetro interior de 15 cm y podrán ser de uno de los siguientes materiales:
  - -De barro, del tipo macho y campana, recocido, vitrificados o no, sin defectos y grietas y con una longitud no mayor de 1 metro.
  - -De concreto hidráulico simple, del tipo macho y campana, sin defectos y grietas y con una longitud no mayor de 125 cm.
  - -De lámina de acero galvanizada, corrugada, del calibre y características que fije el proyecto y/u ordene la Secretaría.

Las alcantarillas usualmente se instalan en el lecho original de la corriente con sus alturas y líneas de flujo adaptándose a las del cauce natural. En esta forma, las perturbaciones de la corriente y los problemas de la erosión que crean se mantienen en un mínimo. En terreno montañoso y ondulado en particular, las desviaciones notables del curso del cauce, ya sea aguas arriba o aguas abajo, pueden dirigir la corriente a un lado del cauce, ocasionando erosión ahí y deposición en el lado opuesto.

En el terreno ondulado, las alcantarillas pueden a veces ser ventajosamente colocadas en el terraplén en una falda de la vertiente, más bien que en el cauce.

En algunas regiones, un sustituto eficiente de las alcantarillas son los vados. Estos se forman rebajando el nivel del camino al nivel del lecho de la corriente de orilla a orilla. Las transiciones para volver a la línea de nivel normal se forman mediante curvas verticales en cada extremo. El deslave de la superficie del camino se evita mediante una represa de concreto, madera o mampostería de piedra y cemento, a lo largo del borde agua abajo del camino en servicio.

Puentes.

Los puentes en las carreteras llevan el tránsito de vehículos y peatones por encima de grandes corrientes y otras masas de agua. Los registros de los flujos de las corrientes suministran el mejor método para estimar la descarga bajo los puentes.

Un análisis del canal para determinar las relaciones entre el flujo máximo, la abertura de la vía de agua, la elevación de la superficie del agua en la estructura y corriente arriba de la misma y la velocidad del flujo es algo que debe hacerse. De este estudio resulta la determinación definitiva de las proporciones de la estructura y modificaciones requeridas en el canal.

Cuando se van a instalar pilares de puentes en corrientes con lechos erosionables, la posible socavación que provoca que los pilares se desentierren se vuelve una consideración primaria.

En los términos más sencillos, los puentes constan de infraestructuras, estribos y pilares, bajo superestructuras que soportan el camino entre los apoyos. Los tipos incluyen, entre otros, puentes de losa, de vigas compuestas, de armaduras, de arco y colgantes, cada uno con una forma distintiva de superestructura. En la fotografía 6 se

puede ver un puente en la etapa de construcción y en la fotografía 7 en la etapa de operación.

Foto 6 Puente en Etapa de Construcción.

Desmantelamiento de los servicios de apoyo.

Las casetas prefabricadas o tiendas de campaña que sirvan de almacenes temporales son desarmadas y retiradas del lugar al terminarse la obra; los pisos o firmes construidos son demolidos y llevados a tiraderos autorizados. El suelo es arado o aflojado con *riper* para poder restablecer la actividad que sustentaba antes de su utilización.

Foto 7 Puente en Etapa de Operación.

3.5 Operación y mantenimiento.

Las actividades que caracterizan a la operación y mantenimiento de una carretera consisten básicamente en el flujo vehicular y las acciones que se toman para su control, tales como el peaje, seguridad, apoyo y auxilio vial. También quedan incluidas las actividades que con regularidad se aplican para dar mantenimiento físico a la carretera y sus componentes.

Ello incluye una serie de labores tales como asfaltado, repavimentado, pintura, poda de árboles, reparación de estructuras de drenaje, reparación de estructuras metálicas de protección, de señalamientos, retiro de basura y de escombros, principalmente.

3.6 Normatividad de carreteras.

Se ha hecho mención de dos de las normas que se aplican para la construcción de la infraestructura hidráulica de las carreteras, estas forman parte de un compendio que incluye la regulación de otros aspectos tales como la realización de trabajos diversos (Capítulo 3.01.02.044), acarreos para obras de drenaje (3.01.02.045), y plantación de especies vegetales (3.01.02.046).

Entre otras, estas son las principales normas que tienen aplicación para el caso que nos ocupa y que, como se verá más adelante, son fundamento de algunas de las medidas de mitigación que se recomiendan.

4 TECNICAS DE ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL APLICABLES A PROYECTOS DE CARRETERAS.

Para poder identificar impactos ambientales existen varias técnicas y métodos, los cuales son utilizados de acuerdo a las condiciones del escenario donde se localiza el proyecto y de la naturaleza y características del mismo. A continuación se hace una descripción de los métodos que se han venido aplicando en el caso de proyectos carreteros, así como de aquellos que pueden ayudar a ampliar los criterios de evaluación hasta hoy tomados en nuestro país.

4.1 Técnicas de aplicación actual.

El procedimiento que por su sencillez ha sido más aplicado para identificar el impacto de los caminos en el medio ambiente es la lista de comprobación, también llamada lista de chequeo, verificación o confrontación, que tiene dos formas básicas: 1) lista de los factores del medio ambiente que pueden ser la base para un inventario o recopilación de información de un proyecto; 2) lista de factores destinados a definir el alcance de las interacciones ambientales y las interrelaciones que deben tomarse en consideración.

El procedimiento de la lista de confrontación sirve como un medio para repasar y seleccionar los factores más significativos que deben tomarse en cuenta en cada caso particular y resulta muy conveniente por la flexibilidad que presenta en un listado y una gama de consideraciones ambientales puesta en cierto orden.

Lista de Impactos Potenciales.

Medio biótico.

- Eliminación de la cubierta vegetal en el derecho de vía.
- Degradación de la vegetación en el medio circundante.
- Modificación del Hábitat.
- Disminución de la abundancia de la fauna.
- Alteración del patrón de distribución de la fauna.
- Afectación de las especies acuáticas.

Medio físico.

- Erosión.
- Arrastre.
- Sedimentación.
- Fallas geológicas activas.
- Alteración del drenaje natural.
- Modificación del flujo del agua.
- Contaminación del aire con gases y polvo.
- Contaminación de las corrientes con acarreos.
- Contaminación del suelo.
- Vibraciones y choques.

Medio humano.

- Modificación de la estructura urbana de los centros de población.
- Aislamiento vial de subcentros urbanos.
- Expropiaciones.
- Partición de parcelas.

- Fraccionamiento de las comunidades.
- Edificaciones afectadas.
- Conflictos sociales.
- Accidentes.

Calidad del Paisaje.

- Perturbación del paisaje natural.
- Deterioro de sitios de interés histórico.
- Obstrucción de ángulos visuales.
- Ruido.
- Basura.

Lista de acciones que impactan.

- Cortes.
- Terracerías.
- Pavimentos.
- Sistemas de drenaje.
- Encauzamientos.
- Puentes.
- Bancos de material y de préstamo.
- Conservación de los suelos y el agua.
- Estabilidad de taludes.
- Banquetas.
- Muros de retención de tierras.
- Revestimientos.

Usos del suelo susceptibles.

- Parques nacionales.
- Refugios para la fauna.
- Lagos artificiales.
- Áreas de habitación.
- Áreas de antecedentes históricos y culturales.
- Explotaciones agropecuarias.
- Áreas de recreo.
- Albergues turísticos.
- Explotaciones forestales.

El procedimiento más simple para identificar los impactos directos o indirectos de los caminos en el ambiente es el de las listas de confrontación, que tienen tres formas básicas: 1) listas de factores ambientales, que sirven de base para el análisis preliminar de elementos susceptibles; 2) listas de obras básicas y actividades complementarias en el derecho de vía y en las zonas adyacentes de desarrollo, que puedan producir un efecto significativo en el medio; y 3) listas de interacciones significativas, que pueden definir el escenario ambiental modificado.

Las listas de confrontación sirven como recordatorio para repasar y seleccionar las interacciones más significativas que deben tomarse en cuenta en cada caso particular y resultan muy convenientes, por su flexibilidad para presentar en forma ordenada, en un esquema muy simple una amplia gama de impactos potenciales.

Método de matrices.

Este método se aplica comúnmente para identificar los impactos que producirían el camino y sus obras complementarias en el ambiente y para evaluar su intensidad a

fin de seleccionar la opción más adecuada. Se distinguen en general tres funciones que están asociadas con las actividades que se indican en cada caso.

1. Identificación:

a. Descripción del ambiente existente.
b. Definición de los componentes del proyecto.
c. Determinación del ambiente modificado por el proyecto, incluyendo todos sus elementos.

2. Pronóstico:

a. Descripción de los impactos ambientales que pueden ser significativos.
b. Pronóstico de la magnitud y/o las dimensiones espaciales de los impactos ambientales identificados.
c. Estimación de las probabilidades de ocurrencia del impacto en un periodo de tiempo.

3. Evaluación:

a. Determinación de la incidencia de costos y beneficios ecológicos.
b. Especificaciones y comparación de los costos y los efectos entre varias opciones.

Las matrices pueden considerarse como listas de confrontación de dos dimensiones y constituyen el primer paso para definir sistemáticamente las interrelaciones entre los elementos. Estas interrelaciones, que pueden no ser obvias durante los procesos iniciales de valoración del camino o del ambiente en que se alojará, comprenden relaciones de 3 tipos: a) relaciones causa-efecto (sistemas de drenaje-modificación de hábitat), b) relaciones entre los factores de deterioro del medio (modificación del

flujo del agua-degradación de la vegetación), y c) relaciones entre las obras que componen el proyecto (terracerías-sistemas de drenaje).

Una matriz puede ayudar muy eficazmente a identificar los tipos de interacciones, así como a establecer el posible rango de los resultados de cualquier acción específica. Del mismo modo, también puede ser útil para predecir con un mejor conocimiento del medio, aún sin ninguna acción llevada a cabo.

Para determinar la importancia relativa de cada uno de los impactos ambientales, puede usarse un procedimiento de comparación, valorizando estos factores en una graduación de 1 a 10 en términos de magnitud (escala del efecto ambiental) e importancia (estimada a juicio del evaluador). Aunque este procedimiento presenta problemas para la unificación de criterios, las estimaciones tienen cierto carácter subjetivo, permite identificar los factores de deterioro más significativos, que corresponden a los valores más altos en la escala. En realidad, esta es la aplicación más importante que puede hacerse del análisis de los impactos ambientales por medio de matrices.

El uso del método de matrices simples de dos dimensiones ofrece algunos inconvenientes, especialmente que el formato no permite representar las interacciones sinergísticas que ocurren en el ambiente, ni tomar en cuenta los efectos indirectos o secundarios que se presentan con frecuencia en los proyectos. Una modificación de este método resuelve el problema de mostrar las diferentes clases de información, incluyendo varios elementos en un solo formato, por ejemplo, uso de recursos, acción generada (corte), cambios iniciales y subsecuentes en las condiciones del medio (erosión, incremento de la carga de sólidos en las corrientes) y efectos probables (variaciones poblacionales de la fauna acuática).

4.2 Técnicas complementarias.

En realidad, ninguna técnica o metodología para la identificación de impactos es completamente adecuada, ya que su utilidad depende de las condiciones ambientales del sitio y de las particularidades del proyecto a evaluar. Aunado a esto, siempre se requiere de la opinión de los integrantes del equipo evaluador que siempre tendrá que ser multidisciplinario. Por ello es recomendable la aplicación de dos o más metodologías que realicen una combinación de técnicas, lo cual es lo más apropiado.

La utilidad y efectividad de los análisis de costo – beneficio y otros métodos de evaluación de los problemas ambientales, dependen en su mayor parte de que, además de los agregados normales del proyecto, se incluyan todos los beneficios y los costos atribuibles a los grupos de población que resultarán afectados por el proyecto. Aunque estas cuentas sociales son definitivas en la evaluación de los proyectos, por lo general no son consideradas en las estimaciones.

Métodos de pronóstico.

Los métodos de pronóstico aplicables en la determinación de los valores de impacto en el medio, están sujetos a las limitaciones de los avances tecnológicos en la materia. Por esta razón, es práctica frecuente en nuestro medio recurrir a la experiencia, al criterio profesional o al razonamiento intuitivo para prever y pronosticar los impactos de los proyectos en el ambiente.

Los modelos matemáticos de simulación, que se usan en forma sistemática en otra clase de problemas, son incipientes en la valoración del impacto en el ambiente, debido principalmente a la escasez de información confiable y de expertos en la materia, problema generalizado en prácticamente todos los países.

Por lo que se refiere a los análisis cuantitativos, se reducen en la mayoría de los casos a simples presentaciones de listas estadísticas. En cuanto al uso de datos cuantitativos, se aplica con mayor frecuencia a las explotaciones de situaciones supuestamente análogas, basadas en condiciones que se presumen similares. El análisis basado en las relaciones funcionales de causa-efecto, que se establecen entre los factores ambientales en situaciones análogas, teniendo como requisito una similitud de condiciones y complementado con investigaciones suplementarias en el terreno, puede ser el medio más adecuado para pronosticar el impacto en muchas zonas del país.

Por lo que se refiere a medir y poner a escala los impactos ambientales, aunque probablemente es una de las operaciones fundamentales de su valorización, no se le ha concedido la importancia que merece. Las listas de confrontación de factores ambientales, que se han venido mencionando, solamente sirven de ayuda para definir el alcance de las consideraciones que se hacen con el objeto de asignar un valor numérico al probable daño. El problema fundamental de medir y poner a escala los impactos ambientales, es el de definir los métodos que se aplicarán para comparar el medio ambiental con y sin el proyecto. En la mayor parte de los análisis se supone equivocadamente que las condiciones ambientales existentes constituyen el origen de medida de los impactos del proyecto, sin tomar en cuenta que las condiciones del medio son eminentemente dinámicas. Del examen de juegos de fotografías o del análisis de series históricas de datos, es posible deducir que las condiciones ambientales están cambiando continuamente y que en la mayoría de las regiones el ambiente seguirá sufriendo alteraciones aún sin el proyecto.

La precisión y la confiabilidad de la respuesta del impacto ambiental pronosticado son problemas que están empezando a recibir atención en algunas investigaciones sobre la materia. Los análisis estadísticos que se realizan para confirmar los valores

pronosticados y la estimación de la probabilidad de que el impacto ocurra, son medidas que podrían incluirse como valores anexos del impacto pronosticado.

Entre las diversas metodologías para la evaluación del impacto ambiental desarrolladas en los últimos años, se distinguen las siguientes cinco que se aplican de acuerdo con la información disponible y las necesidades de cada caso: 1) gráfica, 2) mapas digitales, 3) modelos, 4) matrices y 5) contabilidad social.

Debe aclararse que cualquiera de estas metodologías solamente ayuda a tomar decisiones planteando, jerarquizando y estructurando las opciones disponibles y las consecuencias de cada acción, y que la solución depende fundamentalmente de la sensibilidad, intuición y criterio de los evaluadores. Por esta razón, el perfil profesional y la experiencia del evaluador debe estar de acuerdo con el tipo de proyecto a analizar, así como la confrontación de sus evaluaciones con expertos en otras disciplinas; es decir, mesas de trabajo interdisciplinarias.

Método gráfico.

Uno de los métodos usuales para superar las limitaciones de los análisis tradicionales de evaluación es el gráfico, que permite introducir nuevos elementos en el proceso de selección de la ruta, como son: la conservación de los recursos naturales, la preservación del paisaje, la protección de los diversos tipos de uso del suelo, la cohesión de las comunidades y la prevención contra diversas formas de contaminación, entre otros.

El método es simple, directo, totalmente gráfico y requiere solamente análisis visual. Se basa en el manejo de información distribuida en dos columnas: en una se consignan las diversas clases de beneficios y ahorros derivados del proyecto, tanto monetarios como no monetarios y en la otra, coincidiendo con cada una de dichas

clases, se encuentran los costos, que complementan la estructura de la relación beneficio-costo.

Cada variable afectada por la construcción del camino, como la cohesión de la comunidad o de la calidad del paisaje, y cada variable que afecta la construcción del camino, como la topografía desfavorable o la falta de materiales de construcción, se presenta por separado en un mapa básico, dibujado en color gris y con el tono más obscuro, las áreas en donde se registran los valores más altos, los costos más elevados, reduciendo progresivamente el tono, conforme los valores o los costos decrecen, hasta llegar al color blanco en las áreas en donde los valores son mínimos o se incurre en los menores costos. La graduación y los sistemas de medida cambian de una variable a otra a juicio del evaluador. Desde luego, el sistema de medida de cada variable debe determinarse con toda claridad a fin de que sea significativa para otras personas que consulten los mapas.

En general, el análisis debe realizarse considerando sólo tres categorías: alta, intermedia y baja. Por ejemplo, en el mapa de áreas de pendientes del terreno, las categorías pueden ser: 1) mayores de 10 por ciento, 2) entre 10 y 2.5 por ciento y 3) menores de 2.5 por ciento. En el caso de drenaje natural, las categorías de las áreas pueden ser: a) ríos, arroyos, lagos, lagunas, etc. b) cauces y zonas de drenaje natural y c) libre de aguas superficiales y rasgos pronunciados de drenaje. En cuanto al mapa de calidad de paisaje podrían mostrarse las zonas: 1) gran valor escénico, 2) ciertos elementos escénicos y 3) urbanizados con reducido valor escénico.

Después de preparados los mapas se sobreponen formando un mapa compuesto que tiene áreas sombreadas en diferentes tonos, dependiendo de los tonos de todos los componentes, correspondiendo las áreas con tonos más claros a las de menor costo social. Este mapa compuesto permite analizar las diferentes opciones de ruta

previamente consideradas o generar una nueva ruta a través de las áreas más claras del mapa.

Las ventajas del método radican en su simplicidad, que facilita el análisis preliminar del problema y permite comparar opciones en forma cualitativa y aproximada.

Método de mapas digitales.

Este método, también es de aplicación corriente en problemas de evaluación ambiental, no es más que una versión mecanizada del método gráfico destinada a superar algunas de las limitaciones de éste por medio del cómputo. Además de representarse en mapas y exponerse en forma desplegada, la información recabada por este método se codifica en formas continuas para alimentar a la computadora. De esta manera es posible formar mapas digitales de cada uno de los factores que se están analizando y producir automáticamente, por medio de la computadora, un plano compuesto que sustituye con ventaja al resultante de las sobreposiciones manuales del método gráfico.

Método de modelos de uso del terreno.

Una de las respuestas a las limitaciones que presentan las técnicas de investigación del impacto ambiental por medio de mapas, es el avance que se ha logrado aplicando el método de modelos de uso del terreno.

En los modelos de evaluación del uso del terreno se investigan y estructuran las interacciones entre los propios usos del terreno, los aspectos bióticos, las actividades económicas, la infraestructura existente, las políticas de desarrollo y los proyectos, para tratar de reproducir las condiciones reales. En un modelo correctamente

complementado pueden hacerse simulaciones para probar los cambios que ocurren en el sistema y detectar los impactos que producirían las opciones en estudio. Si se introduce en el modelo el factor tiempo, es posible observar la dinámica de los cambios.

Para la asignación de los valores alternativos del impacto, se han desarrollado algunos métodos específicos de las mismas suposiciones y los agregados que aparecen en el caso de los análisis costo – beneficio.

Un método ilustrativo por sus alcances, es la evaluación de las alternativas de alineamiento de una carretera, realizado por el Instituto de Ecología de Georgia en Estados Unidos, mediante 56 componentes ambientales. En este método se usan también índices normalizados a fin de deducir un índice agregado para cada una de las alternativas consideradas. La principal diferencia entre ambos métodos consiste en que en este se usan valores grabados a corto y largo plazo para cada uno de los impactos pronosticados (por ejemplo, la eliminación de una determinada área de coníferas a lo largo del alineamiento). Además cada una de las estimaciones comprende la definición de un error estimado para los diferentes factores, a fin de aumentar la precisión de las alternativas.

Este método tiene como principal propósito producir un índice agregado de impacto ambiental único para cada alternativa a fin de poder compararlas. En el proceso de generación de este índice agregado, no se definen muchas de las más importantes cuestiones concernientes al peso relativo asignado a las variables incluidas en el análisis y a los métodos de pronóstico de los valores determinados. Los valores seleccionados para gravar cada uno de los factores ambientales, fueron determinados mediante debates entre los grupos interdisciplinarios respectivos; pero las memorias no aclaran si los valores finalmente recomendados son el resultado de un consenso de los propios grupos de estudio, ni como fueron resueltos los desacuerdos sobre los valores relativos de estos factores, con la circunstancia de

que la parte más importante de estos métodos es precisamente la deducción del índice agregado, por el significado que este valor tiene en el conjunto.

Otro problema resultante de la aplicación de estos métodos, es la utilidad práctica que pueda tener un índice agregado, tanto para representar el valor total del impacto que resultará de un proyecto, como para facilitar la evaluación de alternativas en el proceso de toma de decisiones. En todos los casos, resulta dudoso que un solo índice proporcione mejor percepción de la naturaleza interna de un proyecto que la relación costo – beneficio. Por otra parte, este índice tiende claramente a ocultar los impactos que pueden ser especialmente significativos dentro del medio ambiente en que se propone el proyecto. En esta forma, ningún método proporcionará suficiente información al que toma decisiones, para determinar cuales impactos ambientales característicos debe considerar en el caso de cada alternativa del proyecto.

Finalmente, conviene mencionar el método de evaluación desarrollado por la Atomic Energy Comisión de los Estados Unidos de América, para plantas de energía nuclear. Después de presentar una lista de confrontación de factores específicos que deben ser tomados en cuenta, propone para cada factor (por ejemplo, preparación del sitio) la población y los recursos afectados (los habitantes, la vida silvestre, el suelo); una descripción del efecto (por ejemplo, deterioro de la calidad deseable del ambiente debido al ruido y a las actividades constructivas); la unidad de medida del impacto (hectáreas, visitantes por año, etcétera). También propone métodos para calcular un indicador del impacto (por ejemplo, estimación del número de residencias, escuelas, hospitales, comprendidos en el área de impacto visual o auditivo). Debido a que este método es explícito acerca de las medidas cuantitativas que deben utilizarse para valuar los impactos y métodos que deben usarse para calcular estos indicadores, proporciona un medio de intercomunicación en el ámbito técnico entre los profesionales que realizan actividades concernientes a los impactos de los proyectos. El formato de resumen que se utiliza en este método también facilita la comparación directa de alternativas para un gran número de consideraciones

técnicas. Este método no prevé el agregado de impactos, pero combinado con otro enfoque puede sentar las bases para emprender los procesos de revisión.

5 IDENTIFICACION DE IMPACTOS Y MEDIDAS DE MITIGACION.

De acuerdo con el análisis practicado a las 174 manifestaciones de impacto ambiental de proyectos carreteros que hasta la fecha se encuentran disponibles para su consulta en los centros documentales de las oficinas gubernamentales responsables de dictaminar el impacto ambiental de las obras de infraestructura carretera, se describen a continuación todos los tipos de impactos que se pronosticaron para tales proyectos en función del factor ambiental alterado y de las actividades que directa o indirectamente los ocasionaron.

5.1 Etapa de Selección y Preparación del Sitio.

Aguas superficiales.

Impacto: Azolve de cauces y cuerpos de agua.

Actividades.

- Excavaciones y muestreos durante los estudios preliminares de mecánica de suelos.
- Desmonte y despalme durante el trazo y nivelación topográfica.

Descripción.

Al alterar las condiciones originales del suelo, modificar la topografía natural del terreno y al quitar la capa superficial de suelo, se generan cambios en los escurrimientos y se modifican los volúmenes de infiltración y escurrimiento; este efecto ocurrirá en mayor grado en aquellos lugares donde la pendiente es pronunciada por lo que, al llover, el material de despalme o el que se produzca por erosión en áreas desmontadas será incorporado a los cauces.

Medidas de mitigación.

- Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas.
- Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales.
- Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza.

Impacto: Alteración del curso normal de las corrientes.

Actividad.

Depósito de material vegetal y otros elementos como rocas, en barrancas, cañadas y otros cauces de escurrimientos.

Descripción.

Durante las acciones de preparación del sitio es necesario remover la cubierta vegetal y las rocas superficiales. Con frecuencia esto se hace teniendo como depósito final o permanente, sitios que cumplen una función importante en los procesos normales de escurrimiento. La consecuencia es que al no ser removidos, estos materiales interrumpen el curso normal de tales escurrimientos.

Medidas de mitigación.

- Respetar siempre que sea posible el patrón de drenaje natural.
- Las desviaciones de caudales superficiales deben evitarse en lo posible, encauzándose las aguas de escorrentía a cursos fluviales ya existentes, puesto

que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes.

Impacto: Contaminación por aguas residuales.

Actividad.

Vertido de aguas residuales provenientes de campamentos.

Descripción.

Durante la instalación de campamentos donde se hospedan las brigadas de trabajadores encargados de las actividades de preparación, suele presentarse el hecho de que las letrinas sanitarias sean insuficientes o su funcionamiento inadecuado, por lo cual no se controlan las aguas residuales que provienen de tales campamentos. Asimismo, pueden ocurrir vertidos accidentales de combustibles que se almacenan cercanos a los campamentos para su consumo en la maquinaria y equipo que se utiliza en esta etapa.

Medidas de mitigación.

- Mejorar las medidas de seguridad tendientes a evitar accidentes y derrames accidentales.
- Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique.
- Debe haber una cerca que impida el acceso y un techo que evite que el agua de lluvia incorpore derrames a los escurrimientos superficiales.
- Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad.
- Reunir y reciclar los lubricantes y evitar los derrames mediante buenas prácticas.

- Proporcionar letrinas correctamente ubicadas y mantenidas.
- Realizar y llevar a cabo procedimientos para el transporte, almacenamiento y dotación de combustibles en el derecho de vía durante la etapa de preparación del sitio.
- Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.

Aguas subterráneas.

Impacto: Disminución de la recarga vertical de los acuíferos.

Actividades.

Desmonte y despalme.

Descripción.

Al quitar la vegetación y modificar la estructura original del suelo, la proporción de agua de lluvia que tiende a infiltrarse disminuye, ya que se modificaron las características de porosidad y permeabilidad; de esta manera se incrementa el escurrimiento local y se disminuye la recarga vertical a los acuíferos.

Medidas de mitigación.

- Evaluar la posibilidad de encauzar el agua pluvial captada por las obras de drenaje hacia terrenos con sistemas de fracturamiento densos, a fin de infiltrar el agua al subsuelo. Esto, con fundamento en estudios geológicos detallados.

Impacto: Contaminación por aguas residuales.

Actividad.

Vertido de aguas residuales provenientes de campamentos.

Descripción.

Este impacto ocurre en los mismos términos con que se explicó para el caso de las aguas superficiales. Agua residual de los campamentos vertida a terreno de manera inadecuada y derrames accidentales de combustibles.

Medidas de mitigación.

- Establecer medidas de seguridad específicas para evitar accidentes y derrames accidentales de combustibles.
- Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique.
- Verificar mediante procedimiento escrito que la empresa que presta el servicio de letrinas tenga sus permisos en orden y cuente con un sitio adecuado y autorizado para la disposición final de los residuos.
- Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes destinados para esta finalidad.
- Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.

5.2 Etapa de Construcción.

Aguas superficiales.

Impacto: Modificación del patrón de drenaje.

Actividades.

Construcción del cuerpo de carretera, obras complementarias como caseta de peaje y puentes, y explotación de bancos de préstamo lateral.

Descripción.

El cuerpo de la carretera impide el paso de los escurrimientos superficiales, incluso los de menor importancia como el laminar, alterando con ello el comportamiento natural del patrón de drenaje.

Por otra parte, también se identifica un impacto adverso en los pequeños cuerpos de agua originados por manantiales cercanos al derecho de vía, ya que pueden desaparecer al recibir gran cantidad de azolves, quedar parcialmente cubiertos por terraplenes o bien cubiertos totalmente por el cuerpo de la carretera.

También se identifican impactos adversos ocasionados por las obras hidráulicas complementarias, sobre todo en los sitios donde se concentran los escurrimientos de algunas corrientes al salir del derecho de vía del camino. El caudal incrementado forma torrentes e incluso cañadas profundas que se ramifican con rapidez al encontrar un medio favorable, desvastando las tierras vecinas y llegando en ocasiones a retroceder para poner en peligro el camino.

Otra de las causas de este impacto se relaciona con la explotación de bancos de préstamo lateral, el que puede alterar el drenaje natural del área del camino e

incrementar la pérdida de humedad que favorece la degradación de la cubierta vegetal.

Como resultado de este tipo de actividades, el almacenamiento de materiales en zonas no adecuadas puede llegar a modificar la escorrentía de los drenajes superficiales originales.

Medidas de mitigación.

- El diseño deberá apegarse en lo posible al patrón de drenaje natural; es decir, evitar la desviación o interrupción de las corrientes superficiales.
- En caso de encausar las escorrentías se deberán llevar a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes.
- Construir las alcantarillas y obras de subdrenaje, conforme a lo establecido en las especificaciones No. 30 a 32 de localización y dimensionamiento de las “Normas para construcción e instalaciones de carreteras y autopistas.- Estructuras y obras de drenaje, de la SCT.

Impacto: Cambio procesos de erosión-sedimentación.

Actividades.

Construcción de cuerpo de carretera y obras complementarias.

Descripción.

Las obras como lavaderos, cunetas y bordillos modifican los procesos de erosión sedimentación, ya que al recolectar el agua de los escurrimientos que confluyen a la obra carretera y encauzarla hacia corrientes que cuentan con obras de drenaje, se incrementa el volumen de escorrentía de estos últimos y dejan sin agua a los primeros.

Medidas de mitigación.

- Instalar obras hidráulicas que contrarresten el efecto del agua superficial encauzada, tales como represas para el control del flujo.
- Las obras de construcción de lavaderos, cunetas y bordillos, deben ser de un diseño tal que mantengan un flujo por debajo de los riesgos de azolve.

Impacto: Azolve de cauces y cuerpos de agua.

Actividades.

Explotación de bancos de material, excavaciones, nivelaciones, cortes y terraplenes.

Descripción.

La modificación de las características originales del relieve produce cambios en los escurrimientos del área de proyecto y causan variaciones en los contenidos de sólidos disueltos y de nutrientes en suspensión que transportan las corrientes. Esto se debe a que las actividades que requieren excavar, remover y nivelar el terreno favorecen la erosión hídrica, debido al material suelto que se genera, por lo que la cantidad de partículas que transportan las corrientes se incrementa y con ello la posibilidad de azolve de los cauces. Además, las corrientes donde descargan las obras de drenaje ven elevada su fuerza erosiva, con lo cual también crece su capacidad de carga, es decir, aumenta la cantidad de sedimentos que transportan, lo que también contribuye al azolve de cauces y cuerpos de agua.

Taludes con excesiva pendiente originan fenómenos de erosión del suelo difíciles de controlar. De igual modo, se deben evitar los terraplenes mal ejecutados, ya que pueden afectar los cauces antes mencionados. Otro factor a cuidar es la ubicación incorrecta e insuficiente de alcantarillas para estos escurrimientos, pues se pueden producir alteraciones en las características hidrológicas superficiales al desbordarse tales encausamientos.

Medidas de mitigación.

- Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas.
- Utilizar todo el material de despalme o en su defecto enviarlo a aquellos bancos de material que no se utilizarán durante la etapa de operación para restaurarlos y así evitar que sea incorporado a las corrientes por el agua pluvial. Este material puede utilizarse para darle la forma requerida a los taludes de los frentes de explotación.
- Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales.
- Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza.
- De preferencia, enviar el material sobrante a los bancos de material para almacenarse allí hasta el momento de restaurarlo.
- Proteger las superficies susceptibles a los procesos exógenos con estiércol y paja o tela, y sembrar las áreas sujetas a la erosión tan pronto sea posible.
- Dar cumplimiento a lo establecido en el inciso 044-F.01 de las normas para los trabajos diversos de las estructuras y obras de drenaje de la SCT. Con especial énfasis en las siguientes obras:

Guarniciones y bordillos.

- Estarán ubicados en los tramos en terraplén con el objeto de encauzar los escurrimientos superficiales en la corona de la carretera y evitar la erosión en los taludes.
- A cada 50 m de longitud de guarnición o bordillo, como máximo, deberá dejarse un espacio libre para la descarga de los escurrimientos a los lavadores que se colocan en los taludes.

Cunetas.

- Antes de la colocación del recubrimiento, la superficie deberá estar compactada al porcentaje fijado por el proyecto, en un espesor mínimo de 10 centímetros, debiéndose afinar y construir con una pendiente longitudinal no menor de 3 décimos por ciento.
- El espesor mínimo del recubrimiento en zampeados de mampostería deberá ser de 20 cm. En el caso de concreto hidráulico y suelo-cemento, el espesor no será menor de 8 cm, dejando juntas de construcción a no más de seis.

Lavaderos.

- En los terraplenes, estarán localizados en los taludes, en las partes bajas de las curvas verticales y en la parte interna de las curvas horizontales, correspondiendo a las descargas de los escurrimientos que conducen a las guarniciones, los bordillos y las cunetas.
- En los cortes deberán ubicarse en los lugares donde se interrumpió un escurridero natural, descargándolo a una caja amortiguadora al pie del lavadero.

Vados.

- Primero se construirán los dentellones de anclaje y/o de protección, que podrán ser del mismo tipo de material empleado en el pavimento. Cuando el vado sea de concreto hidráulico, los dentellones llevarán anclas metálicas para ligar la losa del pavimento.

- El desplante de la capa de rodamiento deberá hacerse sobre una sub-base compactada al 95%, con espesor no menor de 15 cm. En el caso de mampostería podrá desplantarse sobre el terreno natural previamente acondicionado.
- El cauce del arroyo se deberá conformar, dándole la misma sección del vado, en una longitud mínima de 50 m aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.

- Las obras de protección contra la erosión producida por una corriente y/u oleaje, en los taludes de un terraplén o en las márgenes de un cauce, se colocarán a volteo enrocamiento cuyo coronamiento deberá quedar como mínimo 30 centímetros arriba del nivel de aguas máximas; también pueden usarse enhuacalados de piedra dentro de una malla metálica.
- Para detener los arrastres de una corriente y/o disminuir su velocidad, se colocarán, según se fije, transversalmente al cauce, lo siguiente:

a. Diques formados por terraplenes compactados protegidos con zampeados o de mampostería con sus dentellones de protección o empotramientos necesarios.
b. Enhuacalados formados con troncos, rellenados con piedras y anclados a las márgenes del cauce por medio de cables.
c. Estacados de madera rolliza, con sujeción de malla metálica.
d. Las piedras que se coloquen deberán ser resistentes a la erosión e intemperismo y de peso suficiente para no ser arrastradas por la corriente.

Impacto: Contaminación de agua superficial.

Actividades.

Operación de plantas de asfalto y de concreto hidráulico, el almacenamiento de combustibles, operación de maquinaria y equipo y establecimiento de campamentos provisionales.

Descripción.

El agua superficial se contamina con grasas y aceites cuando existen derrames accidentales, ya que al no limpiar las superficies afectadas, el agua pluvial puede transportar estas sustancias a las corrientes cercanas.

Por otra parte, el establecimiento de campamentos provisionales incluye letrinas portátiles o fosas sépticas, lo que provoca disminución en la calidad del agua superficial cuando descargan sus aguas residuales en los cauces de las corrientes cercanas.

Medidas de mitigación.

- Establecer medidas de seguridad específicas para evitar accidentes y derrames accidentales de combustibles.
- Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique.
- Cuidar que la empresa que presta el servicio de letrinas tenga sus permisos en orden y cuente con un sitio adecuado para la disposición final de estos residuos.
- Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales, sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad.
- Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.

Impacto: Aprovechamiento incontrolado de las corrientes superficiales.

Actividades.

- Compactación y asfaltación.
- Suministro de agua a los campamentos.

Descripción.

Las corrientes superficiales suelen ser empleadas como fuentes de suministro del agua requerida para actividades tales como la compactación y aplicación de materiales. El suministro de esta agua puede hacerse sin control y en consecuencia afectar a otras actividades que se abastecen de la misma fuente.

Medidas de mitigación.

- Con anterioridad a la utilización de cualquier cuerpo de agua como fuente de suministro, deberá explorarse el uso que se le dé en las comunidades cercanas, para no obstruir ninguna actividad productiva.
- El responsable del proyecto deberá supervisar mediante procedimiento los volúmenes de agua utilizados para no incurrir en usos excesivos.

Aguas subterráneas.

Impacto: Disminución de la recarga vertical de los acuíferos.

Actividades.

Explotación de bancos de material, excavaciones, nivelaciones, cortes y terraplenes.

Descripción.

Todas las actividades que modifican las características originales de porosidad y permeabilidad del suelo disminuyen los volúmenes de agua que se infiltran, debido a que el terreno es compactado, permitiendo un mayor escurrimiento y disminuyendo la infiltración local. Adicionalmente, en los sitios en donde se impermeabiliza el suelo con pavimentos y asfaltos (cuerpo de la carretera, puentes y pasos a desnivel, tanto vehiculares como peatonales y de ganado), el agua pluvial escurre prácticamente en su totalidad, reduciendo de esta manera la superficie potencial de recarga de la cuenca hidrológica en la cual se encuentre el proyecto carretero.

Estos impactos se incrementan cuando el proyecto carretero se localiza en zonas que presentan sobreexplotación de los acuíferos. Así, el sistema de drenaje, que era adecuado para las condiciones originales de escurrimiento, resulta impropio después de terminado el camino, especialmente si se toma en cuenta también el efecto de la urbanización y del desarrollo general inducido por la obra en las tierras adyacentes.

Medidas de mitigación.

- Los aplanados que se hagan durante estas actividades generarán una modificación irremediable de la permeabilidad del suelo, afectando de manera permanente la infiltración vertical.
- Se recomienda que las áreas de derecho de vía estén libres de construcciones, para lo cual deberá existir una supervisión permanente.

Impacto: Contaminación de agua subterránea.

Actividades.

Operación de plantas de asfalto y de concreto hidráulico, el almacenamiento de combustibles y operación de maquinaria y equipo.

Descripción.

La calidad del agua subterránea será afectada por la infiltración de agua de lluvia, la cual incorporará grasas, aceites y combustibles que se derramen accidentalmente durante la operación normal de maquinaria y equipo. Parte de estas sustancias se quedan en el suelo y la posibilidad de que se incorporen al agua subterránea es baja por las pequeñas cantidades que se derraman. Sin embargo, pueden ocurrir derrames accidentales en las plantas de asfalto y en los almacenes de combustibles, que junto con sitios en donde el nivel freático es somero (por ejemplo, en el sureste del país), la contaminación podría darse rápidamente y de manera directa, pero se debe considerar que este tipo de derrames es poco frecuente.

La calidad del agua subterránea también se afecta cuando los residuos de las letrinas instaladas en los campamentos y en los frentes de trabajo, son vertidos directamente en el terreno o en corrientes cercanas al área de proyecto. En la mayoría de las manifestaciones de impacto ambiental analizadas, este impacto se calificó como adverso, local y temporal.

Adicionalmente a esto, las excavaciones, cortes y nivelaciones alteran las condiciones iniciales de permeabilidad del suelo. Dichas obras privan a los mantos freáticos de la protección del terreno que las recubre, permitiendo el acceso directo de contaminantes.

Por otra parte, durante la explotación de bancos de material se crean cuencas de acumulación previamente inexistentes. Esta actividad puede afectar directamente cuando la profundidad de explotación no prevé los niveles freáticos y tiene efectos indirectos al poner en solución minerales que se filtran al manto acuífero.

Medidas de mitigación.

- Las medidas recomendadas para la prevención y control de la contaminación de las aguas superficiales también son aplicables para este impacto.

Impacto: Abatimiento del nivel freático.

Actividad.

Excavaciones y construcción del cuerpo de carretera.

Descripción.

Debido a que los materiales empleados para la consolidación de las superficies de rodamiento poseen una alta impermeabilidad, los caminos alojados en excavación funcionan como drenes y abaten los niveles freáticos de una faja de terreno más o menos amplia.

Por consecuencia, la vegetación natural o las explotaciones agrícolas se degradan hasta el grado de abandonarse por incosteables.

Adicionalmente a esto las terracerías y el cuerpo de la carretera pueden afectar directamente al manto freático al funcionar como parteaguas y afectar el patrón de escorrentía característico del lugar, razón por la cual se puede afectar el nivel freático al modificar el patrón de infiltración.

Medidas de mitigación.

- Controlar la extracción de agua a partir de pozos profundos.
- Utilizar materiales permeables en las cunetas, camellones y patios de las casetas de peaje.

5.3 Etapa de Operación y Mantenimiento.

- **Aguas superficiales.**

Impacto: Contaminación de agua superficial con sustancias químicas.

Actividades.

- Tránsito vehicular.
- Mantenimiento de la carretera.

Descripción.

La caída de aceites, grasas y combustibles de los vehículos que transitan por la carretera ocasionará que estas sustancias se incorporen al agua de lluvia y, posteriormente, a las corrientes cercanas. Con excepción de volcaduras y otro tipo de accidentes automovilísticos que tengan como consecuencia el derrame del contenido de los autotanques, los volúmenes de este tipo de contaminantes son reducidos.

Lo mismo puede decirse con respecto a los contaminantes que se originan por la abrasión que produce la fricción de los neumáticos, las partículas de asbesto provenientes de las balatas de los frenos y el polvo, que son otro tipo de contaminantes que se encuentran en la superficie de una carretera.

En lo que respecta a las actividades de mantenimiento de la carretera, éstas pueden implicar la aplicación de algunas sustancias tales como solventes, pintura, herbicidas y asfalto, cuyo manejo puede no hacerse con la prevención necesaria para evitar que entren en contacto con las corrientes superficiales cercanas.

Medidas de mitigación.

- Aplicar desengrasantes biodegradables en los sitios donde se detecte la acumulación de aceites, así como otras sustancias que no sean nocivas al ambiente para remover los materiales que accidentalmente se hayan derramado sobre la cinta asfáltica.
- Diseñar y llevar a cabo, en conjunto con las autoridades municipales, estatales y federales, las medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener y resarcir los daños que se ocasionan a raíz de un derrame por sustancias peligrosas, derivado de volcaduras o choques.

Impacto: Contaminación con aguas residuales.

Actividades.

- Operación de sanitarios en las casetas de peaje.
- Operación de talleres mecánicos en las casetas de peaje y en otros puntos situados a lo largo de la carretera.

Descripción.

La operación normal de los establecimientos mencionados genera aguas residuales de tipo sanitario, así como descargas provenientes de la reparación de automóviles tales como aceite, gasolina, aditivos, etc. Cuando estas descargas no son encauzadas a sistemas de separación de grasas y aceites o hacia redes de drenaje municipal, pueden alcanzar el cauce de una corriente superficial ya sea por su propio flujo o por incorporarse al agua de lluvia.

Medidas de mitigación.

- Supervisar periódicamente mediante procedimiento específico las condiciones en que opera el sistema de drenaje en las casetas de peaje, para comprobar que no existan fugas hacia corrientes superficiales de agua.

Impacto: Azolve de cauces y cuerpos de agua.

Actividades.

La falta de mantenimiento que se dé al sistema de drenaje, así como la instalación insuficiente de alcantarillas o bien que éstas no sean del diámetro recomendado por las normas 31 y 32 de estructuras y obras de drenaje de la SCT, pueden provocar que el agua se desborde del sistema y corra por sitios susceptibles de erosión, lo cual a su vez provocará el azolve de cauces y cuerpos de agua.

Descripción.

El aporte de sedimentos a las corrientes superficiales continuará en sitios donde hubo cortes, bancos de material y de tiro. La modificación de las características originales del relieve favorece la erosión, tanto fluvial, como eólica y de movimiento de masas. En todos estos procesos se produce material que es susceptible a ser arrastrado a las corrientes, lo que incrementa su capacidad de carga y, a su vez, azolve en sus cauces.

Medidas de mitigación.

- El responsable de las labores de mantenimiento deberá seguir un programa riguroso para las obras de control de la erosión, así como de la infraestructura de drenaje.
- Desde el diseño deberá preverse que la construcción e instalación de estructuras de drenaje cuenten con las especificaciones de las normas en la materia, elaboradas por la SCT.
- Cumplir con lo recomendado en la norma 046-B “Plantación de especies vegetales” de la SCT en cuanto a que las especies vegetales tales como pastos, rastreras, trepadoras, cactáceas y arbustivas, se emplearán para el control de la erosión, de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

a. El pasto deberá sembrarse al iniciarse la época de lluvias, ya sea por medio de semilla, tepes, estacas o hidrosiembra, conforme a lo descrito en las recomendaciones de la citada norma.

b. Se utilizarán nopales para fijar suelos áridos no cohesivos, para lo cual se procederá en la forma siguiente: se seleccionarán las plantaciones de nopal apropiado para la región; se cortarán pencas y se dejarán orear hasta que cicatrice el corte, para lo cual se requieren 8 días como mínimo; en los suelos por fijar que indique la SCT, se encajarán las pencas oreadas.

c. Para la plantación de árboles y arbustos se realizarán las siguientes operaciones:

- Excavaciones de cepas, en las medidas que se estipulen en cada caso y con una anterioridad de 15 días a la plantación.
- Transporte de las plantas.
- Acarreo de la tierra fértil para el relleno de las cepas.
- Aniego de las cepas.
- Plantación, relleno de las cepas con la tierra fértil y construcción de los cajetes o bordes de tierra.
- Colocación de algún material de cobertura sobre el cajete para que se conserve la humedad.
- Riego de plantas.
- Fertilizaciones, fumigaciones y otras aplicaciones que se indiquen.
- Protección de las plantaciones mediante tutores que permitan su crecimiento vertical, o defensas con cercos contra el ganado.

d. La extracción y el transporte de las especies vegetales se llevarán a cabo con las precauciones y protecciones que ordene la SCT.

e. De acuerdo con las condiciones climáticas de la región y la especie vegetal de que se trate, la SCT determinará la periodicidad de los riegos.

f. Los fertilizantes, insecticidas y fungicidas cuando se estipulen, serán de la calidad y se aplicarán en la cantidad y frecuencia que ordene la Secretaría.

g. La protección y defensa de las especies vegetales durante su establecimiento, contra la erosión, el ganado, los insectos y otros agentes, se hará de acuerdo en lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la SCT.

Impacto: Alteración de los regímenes hidrológicos de las tierras húmedas.

Actividades.

Establecimiento del cuerpo de la carretera (calzadas elevadas).

Descripción.

Se identifica un impacto adverso en zonas de llanuras inundables, debido a que la superficie asfaltada del derecho de vía inhibe el flujo natural del agua en estas zonas y modifica la proporción de la superficie inundable.

Medidas de mitigación.

- Deberá realizarse mantenimiento preventivo continuamente al funcionamiento de las obras especiales que se hayan construido para mitigar los efectos sobre los escurrimientos y la hidrodinámica en general, tales como cunetas, canales o presas.

Impacto: Efecto barrera y riesgos de inundaciones.

Actividad.

Establecimiento del cuerpo de la carretera.

Descripción.

La superficie de rodamiento de la carretera representa un obstáculo para los escurrimientos y para las corrientes superficiales de la cuenca. Esta obstrucción tiene como efecto mayor la inundación aguas arriba.

Medidas de mitigación.

- Supervisar continuamente el funcionamiento de las obras especiales que se hayan construido para mitigar los efectos sobre los escurrimientos y la hidrodinámica en general, tales como cunetas, canales o presas.
- El cumplimiento con las medidas de mitigación fundamentadas en las normas de construcción de obras y estructuras de drenaje de la SCT, mencionadas para el caso de los impactos por azolve y modificación del patrón de drenaje, contribuirá también a mitigar las consecuencias del efecto barrera.

Impacto: Afectaciones a masas de agua superficiales (zonas húmedas, esteros, etc.).

Actividades.

Establecimiento del cuerpo de la carretera.

Descripción.

De manera similar al impacto antes descrito, el cuerpo de la carretera puede obstaculizar los afluentes a cuerpos de agua permanentes. Como consecuencia de esto se altera la hidrodinámica de estos cuerpos y todos los procesos fisicoquímicos y biológicos relacionados en ello.

Medidas de mitigación.

- Para este caso se recomiendan las medidas de mitigación descritas en los dos impactos anteriores.

- Construir suficientes estructuras de cruce ubicadas en el tramo del cuerpo de agua, ya sea en planta o en elevación, de tal manera que se permita el flujo de agua a ambos lados de la carretera.
- Dar mantenimiento a las cunetas y alcantarillas, con el objeto de evitar interferencias en los flujos de agua.
- Colocar las salidas de drenaje de tal manera que evite el efecto de cascada y revestir la superficie receptora con piedras y concreto.

Aguas Subterráneas.

Impacto: Contaminación con sustancias químicas.

Actividades.

- Tránsito vehicular.
- Mantenimiento de la carretera.

Descripción.

La caída de aceites, grasas y combustibles de los vehículos que transitan por la carretera ocasionará que estas sustancias se incorporen al agua de lluvia y, posteriormente se infiltren al subsuelo. Con excepción de volcaduras y otro tipo de accidentes automovilísticos que tengan como consecuencia el derrame del contenido de los autotanques, los volúmenes de este tipo de contaminantes son reducidos.

Lo mismo puede decirse con respecto a los contaminantes que se originan por la abrasión que produce la fricción de los neumáticos, las partículas de asbesto provenientes de las balatas de los frenos y el polvo, que son otro tipo de

En lo que respecta a las actividades de mantenimiento de la carretera, estas pueden implicar la aplicación de algunas sustancias tales como solventes, pintura, herbicidas y asfalto, cuyo manejo puede no hacerse con la prevención necesaria para evitar que se infiltren al subsuelo.

Medidas de mitigación.

- Controlar el vertido de aceites y grasas a la hora de la limpieza de motores.
- Formular planes y medidas de emergencia para los vertidos accidentales.
- Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.

Impacto: Contaminación con aguas residuales.

Actividades.

- Operación de sanitarios en las casetas de peaje.
- Operación de talleres mecánicos en las casetas de peaje y en otros puntos situados a lo largo de la carretera.

Descripción.

La operación normal de los establecimientos mencionados genera aguas residuales de tipo sanitario, así como descargas provenientes de la reparación de automóviles tales como aceite, gasolina, aditivos, etc. Cuando estas descargas no son encauzadas a sistemas de separación de grasas y aceites o hacia redes de drenaje municipal, pueden finalmente infiltrarse al subsuelo alcanzar el cauce de una corriente superficial, ya sea por su propio flujo o por incorporarse al agua de lluvia.

Medidas de mitigación.

- Impedir el vertido de aceites y grasas generadas durante la limpieza de motores de la maquinaria y equipo empleado para las labores de mantenimiento, por lo

que se deberá prohibir la reparación y cambio de aceite de maquinaria y equipo dentro del derecho de vía.

- Formular planes, programas, procedimientos y medidas de emergencia para la recolección de vertidos accidentales.
- Reparar de manera inmediata los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.

6. ANALISIS REGIONAL DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS.

6.1 Metodología.

El objetivo principal de la regionalización que en este estudio se realizó es el de proporcionar una herramienta que permita diferenciar la importancia de los impactos ambientales en diferentes zonas del país dependiendo de su topografía, morfología, fisiografía, tipo de materiales, origen de éstos, precipitación pluvial, patrón de drenaje, para lo cual se utilizó la siguiente información:

- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Tijuana, INEGI, 1981.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. La Paz, INEGI, 1988.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Chihuahua, INEGI, 1981.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Monterrey, INEGI, 1981.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Guadalajara, INEGI, 1988.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. México, INEGI, 1988.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Villahermosa, INEGI, 1981.
- Carta Topográfica, escala 1:1´000,000. Mérida, INEGI, 1987.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Tijuana, INEGI, 1981.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. La Paz, INEGI, 1988.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Chihuahua, INEGI, 1981.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Monterrey, INEGI, 1981.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Guadalajara, INEGI, 1988.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. México, INEGI, 1988.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Villahermosa, INEGI, 1981.
- Carta Fisiográfica, escala 1:1´000,000. Mérida, INEGI, 1987.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Tijuana, INEGI, 1981.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. La Paz, INEGI, 1988.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Chihuahua, INEGI, 1981.

- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Monterrey, INEGI, 1981.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Guadalajara, INEGI, 1988.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. México, INEGI, 1988.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Villahermosa, INEGI, 1981.
- Carta Precipitación Media Anual, escala 1:1´000,000. Mérida, INEGI, 1987.
- Plano de Geomorfológica, escala 1.1´4´000,000. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM, 1981.
- Plano de Geología, escala 1.1´4´000,000. Atlas Nacional de México, 1990. Instituto de Geografía, UNAM.
- Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1:2´000,000. Instituto de Geología/Consejo de Recursos Minerales, 1992.

Por otra parte, se caracterizaron e identificaron las corrientes superficiales conforman los diferentes patrones de drenaje que existen en nuestro país.

a) *Dendrítico o arborescente*. Se le denomina así por parecerse en su desarrollo a la configuración de un árbol.
b) *Enrejado o emparrada*. Llamado así por su parecido con la figura que forma una parra en el enrejado de un jardín o parral.
c) *Paralela*. Se llama paralela, cuando las corrientes sobre un área considerable o, en un número sucesivo de casos, fluyen casi paralelas unas a otras, por lo que también se les denomina, de “cauda equina” o “cola de caballo”.
d) *Radial*. Denominada así porque las corrientes fluviales se encuentran dispuestas como los rayos o radios de una rueda, con relación a un punto central.
e) *Anular*. Este tipo de configuración de drenaje asemeja a un anillo.
f) *Trenzada*. Se denomina corriente trenzada a aquella que fluye en numerosos canales divididos, que se vuelven a unir, como los cabos o ramales retorcidos de una trenza, originando dicha división de los canales el obstáculo causado por los sedimentos depositados por la corriente.

g) *Kárstica*. Se le denomina también “sumideros” o “resumideros”, en México; “sink holes”, en los Estados Unidos. Esta configuración de drenaje es en parte superficial y en parte subterránea, pues las corrientes superficiales desaparecen o se sumen, en “sumideros” para continuar bajo tierra como corrientes subterráneas. Dan lugar a la formación de los cenotes.
h) *Anastomosada*. Es característico de llanuras de inundación. Los meandros de la corriente principal dan lugar a ciénagas, a fangales, a meandros fósiles, y a canales entrelazados.
i) *Reticular*. Llamada también canaliculada, por estar construida por una red de numerosos canales fluviales, y desordenada o desarreglada, por componerla cursos de agua irregulares. Es una variedad de la anastomosada.

Las configuraciones de los patrones de drenaje se deben al tipo de material por el cual fluyen las corrientes, a las estructuras geológicas (fallas, fracturas, pliegues, contactos litológicos, etc.) que ejercen un control sobre la dirección de las corrientes y a la pendiente del terreno. Por lo que para realizar una regionalización para determinar la importancia de los efectos potenciales de la construcción de carreteras en diferentes zonas del país fue necesario analizar la relación de las corrientes con la topografía, geología, geomorfología y fisiografía.

Asimismo, la cantidad de sedimentos en suspensión, que contribuye al azolve de cauces, estará directamente relacionada con la susceptibilidad a la erosión de los materiales y la cantidad de agua (que depende directamente de la precipitación pluvial y de la capacidad de carga de las corrientes y que a su vez está en función de la pendiente y del caudal de las corrientes).

De esta manera, se procedió a zonificar el país de la siguiente forma:
Se determinó una unidad que contempla todas las zonas de sierras del país (pendientes fuertes), tomando en cuenta el tipo de material que las conforma y el origen del mismo desde el punto de vista geológico (sedimentario, metamórfico y volcánico), encontrándose que la cantidad de sedimentos que arrastran y transportan

en suspensión las corrientes es similar, con algunas variaciones en los caudales por las diferentes precipitaciones que se pueden presentar en la zona donde se encuentran. Predomina la erosión y el transporte de sedimentos.

La siguiente unidad es la que agrupa todas las zonas de pendientes medias constituidas por pie de monte (acumulativo proluvial, erosivo formado por la nivelación de elevaciones montañosas, acumulativo-erosivo, formado por depósitos proluviales y modelado por la disección fluvial, volcánico acumulativo formado por depósitos de tefra y lava, margen exterior de mesa volcánica con fuerte disección como es el caso de la Sierra Madre Occidental, depresiones y cuencas principales), lomeríos, mesetas y estructuras geomorfológicas de poca altura. Esta unidad es una zona de transición entre las sierras y las planicies o llanuras, la capacidad de carga es menor que en las sierras, se presentan procesos de erosión, transporte y sedimentación. También existe una variación con relación a los caudales de las corrientes en función de la precipitación pluvial que se presenta en la zona donde se desarrollen estas corrientes.

La última unidad que se determinó agrupa todas las topoformas casi planas, como son planicies bajas formadas en el cuaternario, marginales a sistemas montañosos (Sierra Madre), Estructuras de plataforma (Península de Yucatán y parte de la costa del Golfo de México), las cuales por su origen pueden diferenciarse en Lacustres y Lagunares, Marinas, Deltáicas, Fluviales, Proluviales, Planicies con Terrazas Marinas Pleistocénicas, Eólicas, Eólico-marinas y Proluvial-eólicas. En esta unidad las corrientes tienen baja capacidad de carga y predominan los procesos de depósito sobre los de erosión y transporte. En esta unidad al igual que en las dos anteriores se observa una variación importante en los caudales dependiendo de la precipitación pluvial que se presenta en la región.

Dado que la precipitación constituye un factor primordial para determinar la cantidad de sedimentos en suspensión y por arrastre que transportan las corrientes se elaboró

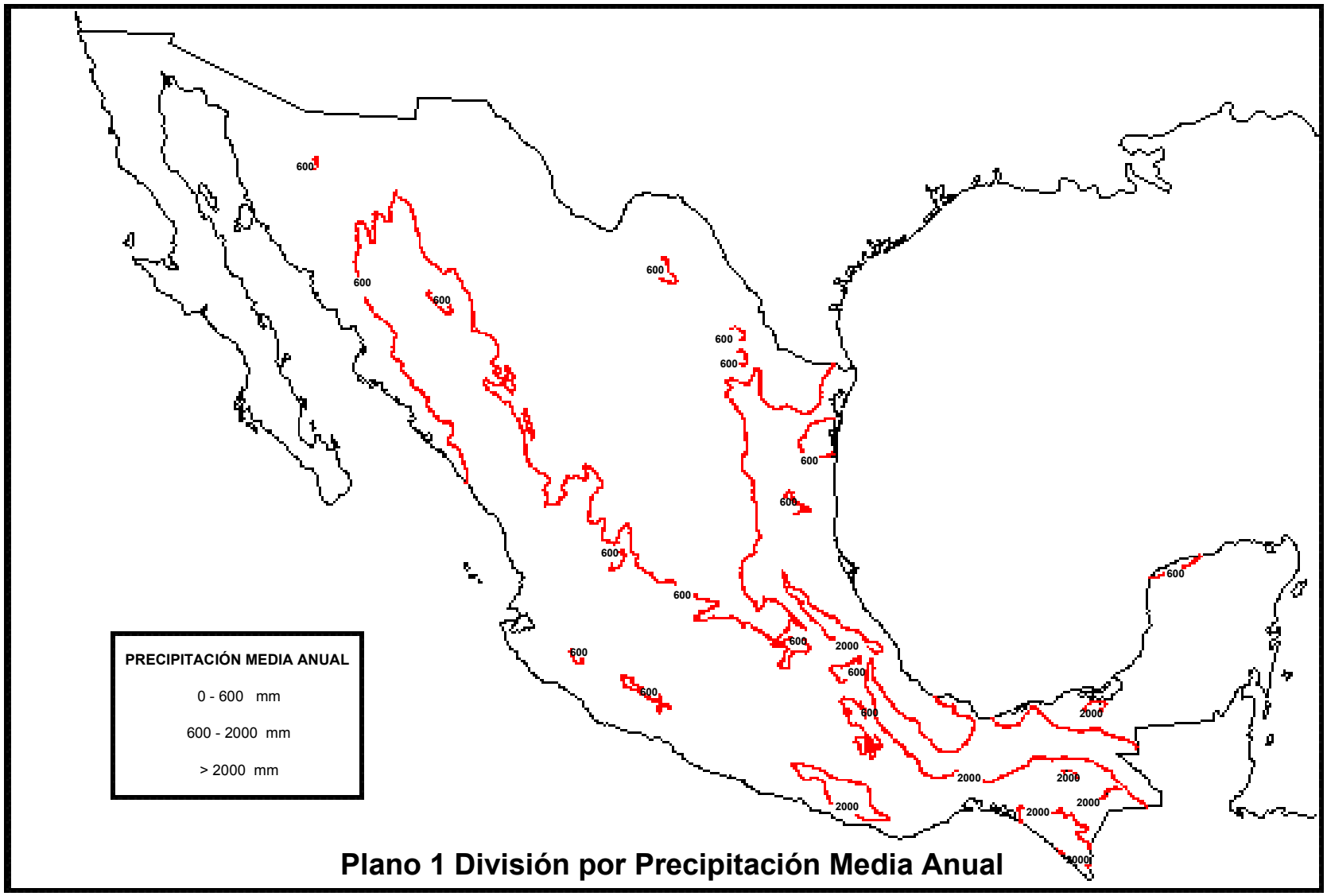
un plano de precipitación determinando tres rangos de precipitación (0-600 mm, 600-2000 y más de 2000 mm).

Para determinar todas las regiones se sobrepuso el plano de regionalización determinado con información geológica, geomorfológica, topográfica y fisiográfica con el de la regionalización desde el punto de vista de precipitación pluvial.

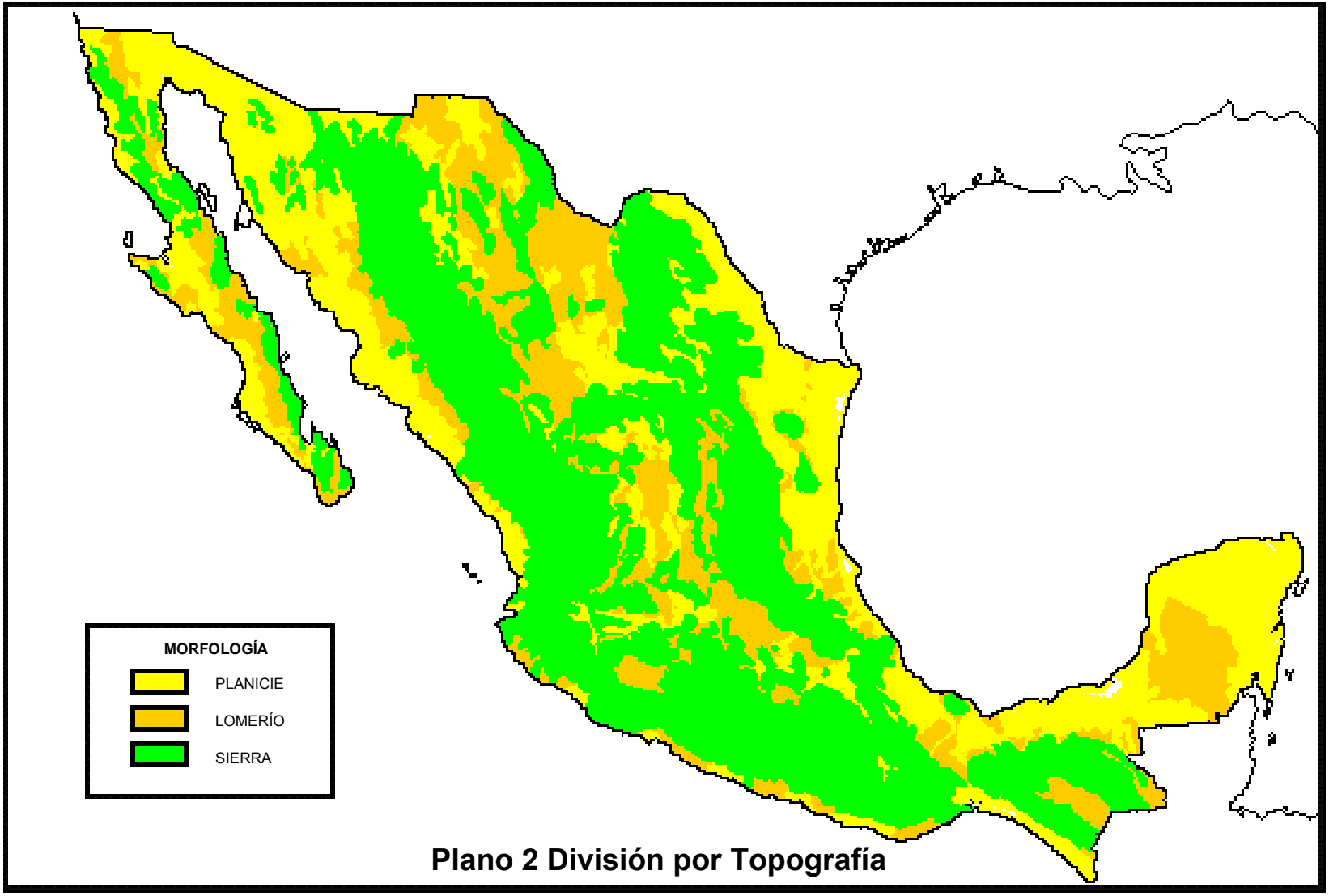
Es importante mencionar que la presente regionalización es un indicador de la importancia del impacto, pero no es determinante y que para evaluar los impactos ambientales a la hidrología el especialista deberá considerar el caudal de las corrientes, la pendiente, la capacidad de carga, la intensidad con que se presentan los procesos erosivos y el patrón de drenaje para estimar el grado de afectación por el incremento en la carga de sedimentos, el azolve de cauces, el efecto barrera a los escurrimientos laminares y lineales menores (escorrentías, arroyos pequeños, etc.).

6.2 Regiones.

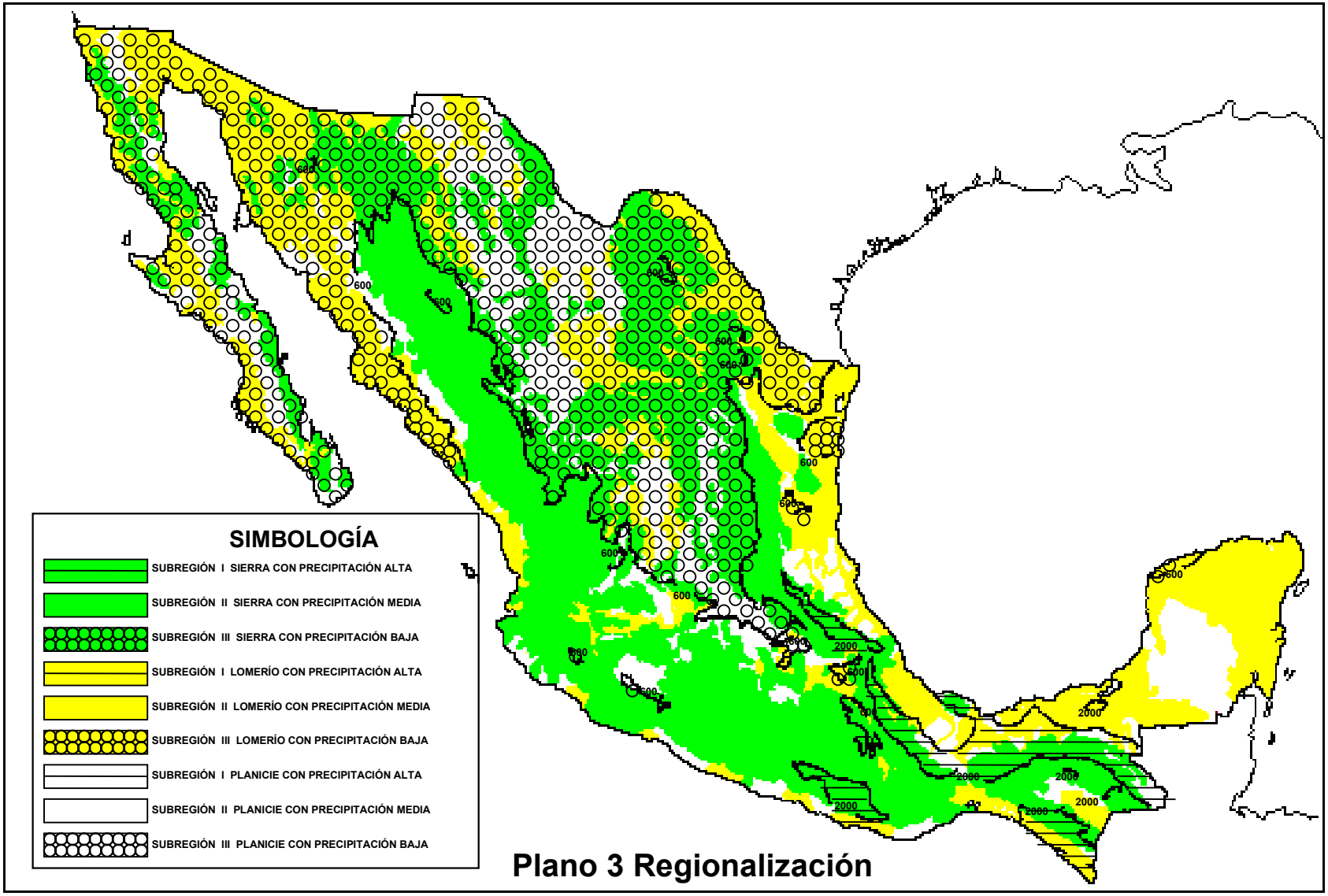
De acuerdo con los aspectos arriba mencionados, se obtuvieron 3 regiones en las que los rasgos fisiográficos son los elementos determinantes y 3 regiones donde el régimen pluvial condiciona distintas situaciones a los fenómenos que buscan analizarse. La sobreposición de estas regiones da como resultado 9 subregiones con características ambientales distintas. En la sobreposición de los planos 1 y 2 pueden verse la distribución y extensión de estas 9 subregiones y en el apartado siguiente se describen sus características.



Plano 1 División por Precipitación Media Anual



Plano 2 División por Topografía



Plano 3 Regionalización

6.3 Características.

Las 9 subregiones que resultaron de la sobreposición de los planos temáticos, definidas en términos de su morfología y promedio anual de precipitación, son las siguientes:

SUBREGION	CARACTERISTICAS	EXTENSION TERRITORIAL APROXIMADA %
I	Sierra con precipitación alta (> 2000 mm)	9.45
II	Sierra con precipitación media (600-2000 mm)	18.40
III	Sierra con precipitación baja (0-600 mm)	16.28
IV	Lomerío con precipitación alta (> 2000 mm)	10.56
V	Lomerío con precipitación media (600-2000 mm)	8.00
VI	Lomerío con precipitación baja (0-600 mm)	11.67
VII	Planicie con precipitación alta (> 2000 mm)	7.56
VIII	Planicie con precipitación media (600-2000 mm)	9.42
IX	Planicie con precipitación baja (0-600 mm)	8.66

Las características fisiográficas del país, entre ellas el relieve del terreno y la distribución irregular de la lluvia en el territorio y a lo largo del año, son sólo los principales factores que limitan la potencialidad de los ríos, que en su mayor parte tienen regímenes intermitentes o efímeros, de carácter errático y torrencial. Mientras las altiplanicies carecen de ríos caudalosos, en las vertientes de ambos litorales existen corrientes de cierta importancia por su potencial escurrimiento, y es en la porción sureste del país en donde están alojadas las cuencas de los grandes ríos, que aportan más del 50% de los recursos hidráulicos de México.

Las perturbaciones atmosféricas producen lluvias normales que aumentan los caudales de los ríos para generar avenidas que se van incrementando a medida que

las corrientes descienden por las laderas y reciben las aportaciones de los afluentes, hasta superar la capacidad de los cauces y desbordarse inundando las zonas ribereñas. Los efectos de las avenidas se acentúan en las planicies, en donde el agua pierde velocidad y deposita los materiales que acarrea de las partes altas, producto de la erosión de las laderas, y va reduciendo progresivamente la capacidad de los cauces para formar meandros e inducir la divagación de las corrientes. Tradicionalmente, las avenidas de los ríos causan daños materiales y pérdidas de vidas, tanto por el impacto de los caudales de agua como por la inundación de los terrenos ribereños.

Del mismo modo, una parte del volumen de agua que se precipita sobre el territorio se infiltra en el terreno y constituye las aguas subterráneas. Los factores que determinan la ubicación y las características geohidrológicas de los acuíferos subterráneos, son, entre otros: la situación geográfica, la conformación de la superficie y la naturaleza geológica del terreno, las condiciones hidrometeorológicas, la posición y las características de la red hidrográfica superficial, la cubierta vegetal y el uso que se hace del terreno. Los escurrimientos de las corrientes superficiales del país hasta su desembocadura, incluyen la mayor parte de los volúmenes de aguas subterráneas.

6.4 Análisis Regional de los Impactos.

Una vez definidos los elementos que permitieron contar con una regionalización que hiciera posible la comparación de las condiciones de susceptibilidad a los tipos de impactos ambientales identificados, se diseñó una matriz de interpretación que sirvió para comparar el grado de significancia de los impactos en las 9 subregiones.

Para evaluar el comportamiento de los impactos en función de estas variables ambientales, se aplicó una escala de 9 grados correspondiendo el 1 a la situación en que el impacto es menos adverso, y el 9 a la de un mayor deterioro.

Este análisis también tomó en cuenta la etapa en que se desarrolla el proyecto, con lo que se logra incorporar con ello un criterio de temporalidad, considerando que los únicos impactos permanentes son los que ocurren durante la etapa de operación y mantenimiento. En la tabla 6.1, se presentan los resultados de este análisis comparativo.

Interpretación de la Matriz.

La manera en que se manifiesta cada tipo de impacto en cada una de las 9 subregiones, es la siguiente:

Azolve de cauces y cuerpos de agua.

Este impacto se manifiesta de forma más significativa en las regiones de sierra con precipitación superior a 600 mm (Regiones I y II), es decir, media y alta. Ello se debe a que la modificación de relieves con mayor pendiente, que implican escurrimientos más pronunciados, en zonas con gran precipitación, tiene una consecuencia más acusada sobre la dinámica erosiva y por lo tanto, favorece el azolvamiento de los cauces y cuerpos de agua.

Si bien dicha transformación del relieve ocurre con mayor grado durante la etapa de construcción, debido a que se realizan cortes y excavaciones, se consideró que el consecuente efecto sobre la carga de sedimentos es temporal y por lo tanto, dicho proceso es más adverso durante la etapa de operación y mantenimiento, en la que la inducción de los procesos erosivos es permanente.

TABLA 6.1. MATRIZ DE INTERPRETACION REGIONAL DE IMPACTOS.

		SUBREGIONES								
ETAPA	**IMPACTO**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**
PREPARACION DEL SITIO	Azolve de cauces y cuerpos de agua	4	4	4	3	3	2	2	1	1
	Modificación del patrón natural de drenaje	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	Contaminación	1	1	2	2	2	1	3	3	2
	Uso desmedido de fuentes de suministro	5	6	6	3	4	5	1	2	3
CONSTRUCCION	Azolve de cauces y cuerpos de agua	7	6	6	6	5	5	5	4	4
	Modificación del patrón natural de drenaje	5	5	5	4	4	4	4	3	3
	Contaminación	4	4	4	5	5	6	7	6	5
	Disminución de la recarga de los acuíferos	5	4	4	3	3	2	2	1	1
	Uso desmedido de fuentes de suministro	8	8	**9**	6	7	7	5	5	6
OPERACION Y MANTENIMIENTO	Azolve de cauces y cuerpos de agua	**9**	**9**	8	8	8	7	7	7	7
	Contaminación	6	6	6	7	7	7	7	8	**9**
	Disminución de la recarga de los acuíferos	**9**	**9**	**9**	**9**	8	6	5	5	5
	Uso desmedido de fuentes de suministro	5	5	6	3	4	5	2	3	3
	Efecto barrera	**9**	8	8	7	6	6	5	5	5

Dicha inducción está dada por la presencia misma de la infraestructura carretera hasta el término de su vida útil.

En el otro extremo, se tiene que el azolvamiento no es un impacto significativo en aquellas regiones de planicie con precipitación pluvial menor a 600 mm.

Modificación del patrón natural de drenaje.

Como patrón natural de drenaje se considera al sentido, distribución y volumen en que los escurrimientos se dirigen dentro de una cuenca. En un nivel más local significa el recorrido y cobertura que hacen de alguna de las subunidades hidrológicas de dicha cuenca. De esta manera, los escurrimientos son físicamente más pronunciados en los lugares montañosos expuestos a promedios mayores de precipitación pluvial anual. Por lo tanto, la modificación de los cauces y relieves por motivo de las obras constructivas ocasiona efectos más adversos en tales regiones.

Contaminación.

Tal como se mencionó en el Capítulo 5, las fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son durante la etapa de construcción, la maquinaria y equipo que opera con ese fin; y durante la etapa de operación, los vehículos que transitan sobre la carretera y la maquinaria y equipo que se emplean para el mantenimiento.

Para evaluar este impacto en función de las características de las regiones tomadas en cuenta, se consideraron los factores que influyen en la capacidad de dilución de la carga contaminante que potencialmente puede incorporarse a los cuerpos de agua. De esta manera, dicha dilución será mayor bajo condiciones de precipitación pluvial elevada y topografía accidentada, lo que trae por consecuencia un menor impacto atribuido a la contaminación. Dicha situación se presenta en la región I (sierra con

precipitaciones mayores a 2000 mm). Por su parte, es en la región IX, con características de planicie y baja precipitación (menor dilución), donde se dan las condiciones para que los efectos del impacto por contaminación sean mayores.

Disminución de la recarga vertical de los acuíferos.

La infraestructura carretera representa un obstáculo físico para la recarga de los acuíferos. Esta obstrucción comienza desde los trabajos de compactación del suelo y tiene su efecto más acusado cuando la carpeta de asfalto o pavimento se convierte en una obra permanente.

En cuanto al proceso mismo de la recarga, depende de la naturaleza del sustrato edáfico y geológico, pero también se ve influido por la geomorfología y la lluvia. De esta manera, las sierras son consideradas zonas de mayor recarga debido a que las capas de suelo son más delgadas y menos compactas. Por ello, desde el punto de vista con que se hace este análisis, el impacto descrito como la disminución de la recarga vertical del acuífero, alcanza grados más significativos en las zonas de sierra (I, II y III) y se va haciendo menos prominente conforme la región es más plana y con menos lluvia.

Uso desmedido de fuentes de suministro.

Este impacto es de mayores consecuencias en las regiones que comparativamente, dentro de la geoforma que le corresponde, poseen un volumen menor de precipitación media anual (III, VI y IX), lo cual hace más escaso el recurso del agua. Durante la etapa de construcción en las regiones de sierra, es más probable que se tenga que echar mano de las corrientes naturales como fuente de suministro, debido a la dificultad de acceder con autotanques y menos con infraestructura temporal. Por lo tanto, dentro de estas regiones el impacto es de mayor incidencia en la que posee promedios anuales de precipitación pluvial menores a 600 mm.

Efecto barrera.

Se considera que este impacto se manifiesta durante la etapa de operación, es decir, una vez que la carretera se ha constituido es un obstáculo definitivo para el patrón natural de drenaje. La interrupción del curso normal de los escurrimientos es más abrupta en las regiones de mayor pendiente y con mayor precipitación (I, II y III), es decir, el efecto barrera es mayor. En esas regiones los escurrimientos son de mayor caudal y no obstante las obras hidráulicas con que se equipe a la carretera, este impacto puede hacerse evidente por la disminución o la desviación de dicho caudal.

Finalmente, se presenta una tabla resumen (tabla 6.2) que relaciona la etapa del proyecto, el impacto identificado, las medidas de mitigación propuestas y el valor máximo y mínimo asignado, de acuerdo a la subregión donde se ubique el proyecto carretero.

El impacto identificado es la afectación a las corrientes superficiales o subterráneas. Algunos de estos impactos se originan en una etapa y se mantienen en las subsiguientes, por lo que las medidas a aplicar y los valores asignados cambian debido a que las condiciones que los originaron son diferentes. Por esta razón no se repite el impacto, sino que se mantiene durante dos o tres etapas del proyecto carretero.

Las medidas de mitigación son las acciones recomendadas para disminuir o inhibir los impactos identificados.

Los valores máximos y mínimos asignados en esta tabla resumen (tabla 6.2) provienen de la matriz de interpretación regional de impactos (tabla 6.1) que sirvió para comparar el grado de significancia de los impactos en las 9 subregiones. Para evaluar el comportamiento de los impactos en función de estas variables ambientales, se aplicó una escala de 9 grados correspondiendo el 1 a la situación en

que el impacto es menos adverso y el 9 a la de un mayor deterioro. A continuación se presenta la tabla resumen.

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
P R E P A R A C I O N D E L S I T I O			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas. • Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales. • Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza.	4/I, II, III	1/VIII, IX
Modificación del patrón natural de drenaje	• Respetar siempre que sea posible el patrón de drenaje natural. • Las desviaciones de caudales superficiales deben evitarse en lo posible, encauzándose las aguas de escorrentía a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes.	2/I, II, III, IV, V	1/VI, VII, VIII, IX

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO (Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
P R E P A R A C I O N D E L S I T I O			
Contaminación	• Mejorar las medidas de seguridad tendientes a evitar accidentes y derrames accidentales. • Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad, para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique. • Debe haber una cerca que impida el acceso y un techo que evite que el agua de lluvia incorpore derrames a los escurrimientos superficiales. • Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales, sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad. • Reunir y reciclar los lubricantes y evitar los derrames mediante buenas prácticas. • Proporcionar letrinas correctamente ubicadas y mantenidas. • Realizar y llevar a cabo procedimientos para el transporte, almacenamiento y dotación de combustibles en el derecho de vía durante la etapa de preparación del sitio. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	3/VII, VIII	1/I, II, VI
Uso desmedido de fuentes de suministro	• Evaluar la posibilidad de encausar el agua pluvial captada por las obras de drenaje hacia terrenos con sistemas de fracturamiento densos, a fin de infiltrar el agua al subsuelo. Esto, con fundamento en estudios geológicos detallados.	6/II, III	1/VII

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO (Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
C O N S T R U C C I O N			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• Establecer presas de decantación para que los sedimentos en suspensión sean retenidos en ellas antes de llegar a las corrientes cuyas cargas de sedimentos se incrementarán. Para determinar el número y la ubicación de ellas se debe hacer un análisis de la topografía y del patrón de drenaje para encontrar el sitio donde sean más efectivas. • Utilizar todo el material de despalme o en su defecto enviarlo a aquellos bancos de material que no se utilizarán durante la etapa de operación para restaurarlos y así evitar que sea incorporado a las corrientes por el agua pluvial. Este material puede utilizarse para darle la forma requerida a los taludes de los frentes de explotación. • Evitar a toda costa que se almacene o se tire material de despalme cerca de cuerpos de agua formados por manantiales. • Los bancos de tiro no deben establecerse en cauces de corrientes superficiales (cañadas, barrancas, arroyos, etc.) ya que de ser así el aporte de sedimentos será muy alto por ser materiales sin cohesión y encontrarse en lugares donde los escurrimientos superficiales tienen más fuerza. • De preferencia enviar el material sobrante a los bancos de material para almacenarse allí hasta el momento de restaurarlo, • Proteger las superficies susceptibles a los procesos exógenos con estiércol y paja o tela, y sembrar las áreas sujetas a la erosión tan pronto sea posible. • Dar cumplimiento a lo establecido en el inciso 044-F.01 de las normas para los trabajos diversos de las estructuras y obras de drenaje de la SCT.	7/I	4/VIII, IX
Modificación del patrón natural de drenaje	• El diseño deberá apegarse en lo posible al patrón de drenaje natural, es decir, evitar la desviación o interrupción de las corrientes superficiales. • En caso de encauzar las escorrentías se deberán llevar a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evita erosiones hidráulicas no deseadas y permite mantener los caudales de los cauces preexistentes. • Construir las alcantarillas y obras de subdrenaje, conforme a lo establecido en las especificaciones No. 30 a 32 de localización y dimensionamiento de las “Normas para construcción e instalaciones de carreteras y autopistas.- Estructuras y obras de drenaje, de la SCT.		

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO (Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
C O N S T R U C C I O N			
Contaminación	• Establecer medidas de seguridad específicas para evitar accidentes y derrames accidentales de combustibles. • Los combustibles deben colocarse sobre superficies impermeables que cuenten en su límite exterior con una barrera de 15 cm de alto que permita, en caso de accidente, que el combustible sea recuperado en su totalidad para lo cual requiere un hoyo para utilizar bomba de achique. • Cuidar que la empresa que presta el servicio de letrinas tenga sus permisos en orden y cuente con un sitio adecuado para la disposición final de estos residuos. • Debe preverse la posibilidad de que existan vertidos accidentales, sobre todo en vías con tránsito regular de sustancias peligrosas. En estos casos es útil realizar canalizaciones y desviaciones a recipientes creados para esta finalidad. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	7/VII	4/I, II, III
Disminución de la recarga vertical de los acuíferos	• Los aplanados que se hagan durante estas actividades generarán una modificación irremediable de la permeabilidad del suelo, afectando de manera permanente la infiltración vertical. • Se recomienda que las áreas de derecho de vía estén libres de construcciones, para lo cual deberá existir una supervisión permanente.	5/I	1/VIII, IX
Uso desmedido de fuentes de suministro	• Con anterioridad a la utilización de cualquier cuerpo de agua como fuente de suministro, deberá explorarse el uso que se le dé en las comunidades cercanas, para no obstruir ninguna actividad productiva. • El responsable del proyecto deberá supervisar mediante procedimiento los volúmenes de agua utilizados para no incurrir en usos excesivos.	9/III	5/VII, VIII

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

TABLA 6.2 IMPACTOS, MEDIDAS Y VALOR ASIGNADO (Continuación)

IMPACTO	MEDIDAS	$VALOR_{MAX}$ /R	$VALOR_{MIN}$ /R
O P E R A C I O N Y M A N T E N I M I E N T O			
Azolve de cauces y cuerpos de agua	• El responsable de las labores de mantenimiento deberá seguir un programa riguroso para las obras de control de la erosión, así como de la infraestructura de drenaje. • Desde el diseño deberá preverse que la construcción e instalación de estructuras de drenaje cuenten con las especificaciones de las normas en la materia, elaboradas por la SCT. • Cumplir con lo recomendado en la norma 046-B "Plantación de especies vegetales" de la SCT en cuanto a que las especies vegetales tales como pastos, rastreras, trepadoras, cactáceas y arbustivas, se emplearán para el control de la erosión.	9/I, II	7/VI, VII, VIII, IX
Contaminación	• Controlar el vertido de aceites y grasas a la hora de la limpieza de motores. • Formular planes y medidas de emergencia para los vertidos accidentales. • Diseñar e implementar medidas de seguridad y un plan de emergencia para contener los daños que se ocasionan a raíz de un derrame accidental.	9/IX	6/I, II, III
Efecto barrera	• Supervisar continuamente el funcionamiento de las obras especiales que se hayan construido para mitigar los efectos sobre los escurrimientos y la hidrodinámica en general, tales como cunetas, canales o presas. • El cumplimiento con las medidas de mitigación fundamentadas en las normas de construcción de obras y estructuras de drenaje de la SCT, mencionadas para el caso de los impactos por azolve y modificación del patrón de drenaje, contribuirá también a mitigar las consecuencias del efecto barrera.	9/I	5/VIII, IX

$VALOR_{MAX}$ Valor máximo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

$VALOR_{MIN}$ Valor mínimo asignado en la matriz de interpretación regional de impactos.

R Región que le corresponde de acuerdo a la matriz de interpretación regional de impactos.

7. CONCLUSIONES.

De acuerdo con el análisis realizado en el presente estudio, se llega a la conclusión que los efectos de la infraestructura carretera en la hidrología, se pueden minimizar y en algunos casos inhibir si se cuenta con un Proyecto Completo y un Buen Proyecto, por lo que se recomienda cumplir siempre con estas dos premisas para lograr un proyecto carretero socialmente justo, económicamente viable y ecológicamente adecuado.

Los impactos de las obras carreteras en las corrientes de agua superficial y subterránea son perfectamente predecibles mediante la aplicación correcta de las metodologías actuales. En la mayoría de los casos, la aplicación de listas de comprobación conduce a una predicción general de interacciones que necesitan de un análisis más detallado, sobre todo en los proyectos que atraviesan varios ecosistemas o cuencas.

Existen las soluciones técnicas para prevenir y/o mitigar los impactos derivados de las etapas de preparación del sitio y de la construcción, que como se pudo ver en este trabajo, son los más significativos. Un buen número de estas soluciones son sencillas y de fácil aplicación durante el desarrollo de la actividad misma que ocasiona el impacto. Por ejemplo, en la desviación de las corrientes durante las excavaciones y los trabajos mismos de construcción, se debe tener la certeza de que el cauce desviado no provoque inundaciones que azolven otros escurrimientos.

De igual forma, la manipulación que se hace de los materiales extraídos de bancos no debe incurrir en excavaciones ni movimientos de tierra que alteren la conformación de microcuencas.

Uno de los impactos mayores, que consiste en el efecto barrera sobre el patrón general de drenaje, puede mitigarse eficientemente seleccionando el trazo del proyecto en función de las características fisiográficas e hidrológicas de las cuencas. No interrumpir u obstaculizar los escurrimientos naturales para no alterar volúmenes de captación, debe ser un criterio determinante en la selección del trazo geométrico recomendable.

Si bien la pérdida de permeabilidad es un impacto inevitable en la superficie de rodamiento, debido a que la compactación y pavimentación son actividades que deben cumplir con estándares físicos inversamente proporcionales a la infiltración natural del terreno, la empresa constructora debe compensar esta situación ya sea reforestando las orillas y camellones para conservar la permeabilidad del suelo en estos sitios, así como infiltrando el agua pluvial captada en las represas y demás obras hidráulicas, siempre y cuando se cuente con los estudios geológicos suficientes.

La magnitud e importancia del impacto están condicionadas por los atributos ambientales de la región en que se pretende desarrollar el proyecto. De este modo, en el presente trabajo se ha podido extraer conclusiones para nueve tipos de subregiones que resultaron de practicar una sobreposición de mapas morfológicos con 3 regiones y de precipitación del territorio nacional, con otras tres regiones.

Por ejemplo, las repercusiones sobre las corrientes de agua en las carreteras construidas en regiones planas donde el promedio anual de lluvia sea bajo, serán distintas que en las planicies con alta lluvia y más diferentes aún que en los lomeríos y sierras.

Estas dos variables, morfología y precipitación, fueron seleccionadas para el análisis del comportamiento regional de los impactos de las obras carreteras, debido a su relativamente fácil registro y porque permiten la correlación de procesos ambientales que determinan condiciones de susceptibilidad a la erosión, al azolvamiento y a la

modificación del patrón natural de drenaje superficial y de recarga de los mantos freáticos, entre otros.

El análisis por etapas de desarrollo del proyecto permite reconocer las necesidades particulares de evaluación. Por ejemplo, durante la preparación del sitio, deben ser considerados los siguientes apartados:

- **Corrientes Superficiales.**

1) Tipo y distribución de las redes de drenaje y escorrentía.
2) Formas de agua presentes en el área que pueden verse afectadas, en particular, ríos, arroyos y torrentes, lagos, lagunas y zonas húmedas, cursos discontinuos y artificiales (acequias, canales), embalses, pantanos, etc.
3) Estimación de los caudales, tanto su módulo anual como los de avenidas. Respecto a estos últimos es importante que el periodo de retorno sea suficientemente largo (20 años al menos), puesto que los riesgos de inundaciones están estrictamente ligados a ellos.
4) Análisis de la calidad de aguas de los cursos fluviales, teniendo en cuenta principalmente aquellos parámetros que puedan verse afectados, tanto en la fase de construcción como de explotación. Concretamente, los parámetros de calidad de aguas que al menos deben contemplarse son los siguientes: demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO y DQO), sólidos disueltos y en suspensión, nutrientes (fosfatos, nitratos y nitritos), plomo, aceites y grasas.

- **Corrientes Subterráneas.**

La definición de la situación preoperacional de las aguas subterráneas debe basarse en dos aspectos fundamentales: (1) la vulnerabilidad de los terrenos frente a la entrada de contaminantes, en función de la permeabilidad de los materiales y su conexión con los acuíferos y (2) los efectos de corte que pueden generar la excavación de zanjas y las obras de drenaje en los acuíferos superficiales.

Otro aspecto a tener en cuenta en el análisis de las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos carreteros, es el que tiene que ver con los alcances derivados de los costos de este tipo de estudios. La integración de un equipo experimentado, que aplique las técnicas de evaluación con el detalle necesario, implica costos que los responsables del proyecto no están siempre dispuestos a pagar, por lo que los estudios no alcanzan el sustento técnico suficiente.

Por otra parte, conviene insistir en un mayor detalle durante el análisis del costo/beneficio de los proyectos, ya que en la mayoría de las veces no está precedido de una ponderación suficientemente soportada de los factores ambientales que se están evaluando. Uno de los principales problemas de los métodos para evaluar es que no se sabe si los valores recomendados para cada uno de ellos se obtuvieron a partir de un consenso de los equipos interdisciplinarios, ni como fueron resueltas las controversias sobre los valores relativos de estos factores, con la circunstancia de que la parte más importante en estos métodos es la deducción del índice agregado.

Otra de las conclusiones del presente estudio es que durante las evaluaciones de impacto ambiental de este tipo de proyectos, debe considerarse la probabilidad de riesgos naturales, tales como sismos e inundaciones, como un factor que con determinadas condiciones incremente la magnitud y/o la importancia de los efectos potenciales adversos sobre las aguas superficiales y subterráneas.

Por otra parte, es necesario insistir en la necesidad de que los lineamientos constructivos de cada proyecto carretero consideren un cumplimiento más estricto de la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, sobre todo en lo referente a las obras de drenaje.

El análisis regional de los impactos que se hizo para este estudio, muestra la necesidad de abundar en las investigaciones al respecto, ya que permite avanzar en la interpretación de la diversidad ambiental de nuestro país. Una de las ventajas de este tipo de análisis es que permite formular lineamientos y recomendaciones acordes a cada ámbito regional.

Para los proyectos carreteros esto es de suma importancia debido a su carácter lineal y extensivo, que muchas veces incluye a más de una región, por lo que se hace evidente la necesidad de evaluar el impacto ambiental, mediante la aplicación de técnicas con mayor fundamento geográfico y con un mejor análisis e integración de la información particular de la región o regiones incluidas dentro de la zona de influencia.

BIBLIOGRAFIA.

Manifestaciones de impacto ambiental a carreteras, autopistas y caminos.

1 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la ampliación a dos carriles en la autopista México-Cuernavaca*. Monroy Martínez R.1989.

2 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista de Sayula, Veracruz a Ocozocuautla.* Chiapas. Orva Ingeniería .1990.

3 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la a*utopista *La Tinaja-Acayucán-Cosoleacaque. Modalidad Intermedia. Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. de C.V. 1992.*

4 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la autopista Zacatecas-Aguascalientes.* Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. de C.V. 1992.

5 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Coatzacoalcos-Villahermosa, tramo Agua Dulce-Cárdenas.* Consorcio de Constructores. 1992.

6 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia. Autopista San Luis Potosí-Matehuala-Saltillo.* Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. de C.V. 1992.

7 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Santa Ana-Sonoyta.* Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. de C.V. 1993.

8 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista de cuota Gómez Palacio-Límite de Durango-Chuhuahua.* Impulsora y operadora de autopistas. Flores S. R. M. 1993.

9 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad específica de la construcción del paso inferior y las vialidades de acceso al "Entronque Cuautla".* CAPUFE. Ambiente y Ecosistemas. 1994.

10 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la ampliación a tercer carril de la autopista México-Puebla.* Ingeniería y Ambiente. 1994.

11 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Construcción de la autopista Atizapán-Venta de Carpio.* Planeación e Ingeniería Ambiental. 1994.

12 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de las vialidades de Acapulco. Autopistas de Guerrero.* Tecnologías y Sistemas para el control de la contaminación. 1992.

13 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la autopista Pátzcuaro-Uruapan*. Villasana Lyon. 1995.

14 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la autopista que conecta las ciudades de Tuxpan y Tampico.* Solta Pruna. 1995.

15 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Aguascalientes-Rincón de Romos.* 1995.

16 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Sonoyta-San Luis Río Colorado.* Estudios y Ejecución de Proyectos. 1995.

17 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción y rehabilitación de caminos de acceso.* Maderas NACOBAVI. Domínguez, A. N. 1990.

18 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Zapotalito-Cerro Hermoso.* Modalidad General. Caminos y Aeropistas de Oaxaca. 1991.

19 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la ampliación a cuatro carriles del ramal Cocoyoc-Oaxtepec.* Monroy Martínez R. 1994.

20 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera tipo C de los caminos: Sahuaripa-Tepache y E.C. Hillo-Sahuaripa-Rebeico-Soyoapa-E.C. Hillo San Nicolás, con longitudes actuales de 20 y 53 Km, respectivamente, en el Estado de Sonora.* Orva Ingeniería. 1994.

21 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de los caminos Carbón-Rayón.* Orva Ingeniería. 1994.

22 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del proyecto ejecutivo de carreteras tipo C.* Asesores en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado. 1994.

23 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Cuernavaca-Acapulco.* 1998.

24 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera San Martín-Texmelucan-Tlax*. 1989.

25 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Maravatío-Morelia*. 1989.

26 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Constituyentes-La Venta*. 1989.

27 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Guadalajara-Tepic.* 1989.

28 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Contadero Periférico Sur.* Orva Ingeniería. 1990.

29 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Contadero Periférico Sur*. Orva Ingeniería. 1991.

30 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento de Apizaco Tlaxcala.* Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios, S.A. de C.V. 1991.

31 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera México-Veracruz.* Ortega Rivero. 1992.

32 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de las vialidades de Acapulco. Tecnología y Sistemas para el control de la contaminación.* 1992.

33 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Estudio ambiental de la Carretera Chihuahua-Cd. Juárez tramo Sacramento-Samalayuca (km 33 al km 322), Estado de Chihuahua.* 1992. Pisanty, L. J.

34 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento noroeste de Toluca.* AMBIOTEC. 1993.

35 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Cabo San Lucas-San José.* Flores S. R. M.1992.

36 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia del puente "Zacatal". Cultura Ecológica.* 1993.

37 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Carretera Torreón-Saltillo.* Solta Pruna. 1992.

38 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Matamoros-Reynosa.* Cultura Ecológica. 1993.

39 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Cuacnopalan-Tehuacán-*Oaxaca. IDDEC. 1993.

40 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe preventivo de los entronques y pasos a desnivel Guajardo V.* 1993.

41 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia del libramiento norponiente de la Ciudad de Cabadas, Michoacán.* Tecnologías y Sistemas para el Control Ambiental, S. A. de C. V. 1993.

42 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Santa Ana-Sonoyta.* Flores S. R.M.1993.

43 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera concesionada Cosoleacaque-Raudales-Guayacan-Ocozocuatla.* Orva Ingeniería. 1993.

44 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del paso superior Xalostoc. Guajardo V.* 1994.

45 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Contadero- Colegio Militar.* Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas, A. C. 1994.

46 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera La Venta- Colegio Militar.* Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas, A. C.. 1994.

47 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción de la carretera México-Tuxpan.* Secca de México. 1994.

48 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera entronque San Blas.* Centro de Ecología-UNAM. 1994.

49 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Arriaga-Ocozocuautla.* Centro de Ecología-UNAM. 1994.

50 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Tapachula-Cd. Hidalgo.* Centro de Ecología-UNAM. 1994.

51 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad específica de la carretera La Venta- Colegio Militar.* 1995.

52 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del proyecto de pavimentación del camino principal Los Herreras-Topia.* 1994.

53 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Carretera México-Guadalajara. IDDEC.* 1995.

54 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Carretera Aguascalientes-Zacatecas.* 1994.

55 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tuxla Gutiérrez-San Cristobal (48 km).* Lyon. 1995.

56 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tampico-Linares.* An Consultores. 1996.

57 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del entronque aeropuerto.* 1996.

58 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe preventivo de la carretera Alamo-Benito Juárez. Ortíz Ramírez*. 1995.

59 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Santander-Matamoros.* Lyon. 1996.

60 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Fresnillo-Cuencame.* Lyon. 1996.

61 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Mitla-Zacatepec-Mixes.* IDDEC. 1996.

62 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción de terracerías, obras de drenaje y pavimentación del camino Tlahualillo-Cartagena.* 1997.

63 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Carretera Morelia-Lázaro Cárdenas.* Construcciones y Proyectos Ninive. 1996.

64 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Puente Internacional Los Tomates.* 1997.

65 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Ciudad Mante-El Capulín.* 1995.

66 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Puente Internacional Laredo III (40 km).* Pisanty L.J. 1996.

67 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Albino Corzo-Siltepec.* Lyon. 1996.

68 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción de terracerías, obras de drenaje y pavimentación del camino Nazas-San Luis del Cordero-San Pedro del Gallo.* 1997.

69 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Cuidad Hidalgo- Tecún Umán-San Marcos Guatemala.* Lyon. 1996.

70 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Campeche-Mérida*. Lyon. 1997.

71 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento de la localidad de Temozón*. Sistemas Creativos. 1997.

72 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento de la localidad de Calotmul.* Sistemas Creativos. 1997.

73 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la construcción del entronque Mozimba de la carretera Acapulco-Zihuatanejo.* Espacios Verdes. 1997.

74 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción de la carretera Ometepec-Cacahuatepec*. Eco Ingeniería. 1997.

75 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la construcción de la carretera perimetral de Cozumel 1ª etapa.* Consultores en Ecosistemas. 1998.

76 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del acceso y puente Río Cazones*. 1998.

77 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Ciudad Cuauhtémoc- La Junta.* Lyon. 1997.

78 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la autopista Las Choapas-Raudales.* SCT. 1997.

79 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Construcción del tramo carretero San Pedro Ixcatan-Mesa del Nayar.* Eco Ingeniería. 1997.

80 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Libramiento de Altamira*. Lyon. 1998.

81 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la vialidad Parque Papagayo, Acapulco, Gro.* Lyon. 1998.

82 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la construcción de la ampliación de terracerías, obras de drenaje, pavimentación de concreto asfáltico, entronques, señalamientos y obras complementarias del libramiento periférico: Torreón-Gómez Palacio-Lerdo.* Cruz Beristain Gonzalo. 1998.

83 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Autopista Cardel-Tihuatlán.* Lyon. 1998.

84 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera San Rafael Buchivo*.. Lyon. 1998.

85 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la construcción del entronque José López Portillo.* Tríada Diseño Gerencia y Construcción, S.A. de C.V. 1998.

86 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Chamapa-Lechería.* Sistemas de Ingeniería Sanitaria. 1990.

87 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Champotón-Campeche.* 1991.

88 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Mexicali-Tijuana. Modalidad Intermedia.* Secca. 1992.

89 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la vialidad exterior al puente Piedras Negras III.* Espacios Verdes. 97-98.

90 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera SLP-Tamaulipas tramo Ventura-San Lorenzo*. Espacios Verdes. 1998.

91 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera México-Veracuz tramo Cordoba-Veracruz.* An Consultores. 1992

92 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tampico-Linares tramo Cuauhtémoc-Linares.* Solta Pruna. 1994.

93 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de Carretera Cordoba-La Tinaja.*

94 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Celaya-San Miguel Allende.* Asesoría, Servicios y Estudios Interdisciplinarios. 1993.

95 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la ciclopista Ixtapa-Zihuatanejo.* Lyon. 1997.

96 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Morelia-Salamanca tramo Cuitzeo-Salamanca.* Planeación y Proyectos de Ingeniería. 1998.

97 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento Rincón de Romos.* Eco Ingeniería. 1997.

98 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Villahermosa-Zacatal*. Consultores en Ingeniería Civil. 1995.

99 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Badiraguato-Guanajuato.* Gpo. Aries. 1995.

100 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Boca de Bacalar-Xalax-Majagual.* Pisanty L.J. -

101 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Ciudad Victoria - Linares tramo Barretal-Linares.* Manejo de recursos Silvestres S. C. 1997.

102 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Acapulco-México tramo puente Ixtla Km 246 a Acapulco Km 0-000.* Orva Ingeniería. 1992.

103 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Aldama-Chihuahua*. Lyon. 1997.

104 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Aeropuerto Cuernavaca, Morelos*. Espacios Verdes. 1995.

105 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Arriaga-Huxla.* IDDEC. 1992.

106 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Cuacnopalan-Tehuacán.* SCT. CIIDIR-IPN Oaxaca. 1994.

107 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Cosoleacaque Ver-Ocozocuautla Chis tramo Cosoleacaque-Tuxtla Gutiérrez.* Centro de Ecología-UNAM. 1992.

108 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Entronque Ameria-El Mirador de la carretera Colima-Manzanillo (132 km).* IDDEC. 1992.

109 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Durango-Cuencamé.* Solta Pruna. 1991.

110 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Durango-Mazatlán.* Pisanty L..J. 1995.

111 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Esperanza Puebla-Cd. Mendoza Veracruz.* Control Ambiental Integrado. 1992.

112 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tampico-Linares tramo Estación Manuel-S. Francisco.* Manejo de Recursos Silvestres S. C. 1997.

113 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Fronteriza del sur tramo Ramal a Bonampak (13 Km)*. Orva Ingeniería. 1995.

114 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Guadalajara-Tepic tramo Magdalena Jalisco-Ixtlan del río Nayarit.* Orva Ingeniería. 1991.

115 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Huautla-Tuxtepec*. 1996.

116 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Ixtapa-Zihuatanejo-aeropuerto.* Lyon. 1996.

117 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de Carretera Jala Nay.-Puerto Vallarta Jal.* Consultores en Ingeniería Civil. 1995.

118 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera La Barca-Guadalajara*. 1989.

119 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera La Gloria - Colombia*. Flores S. R.M. 1992.

120 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera: Lagos de Moreno-SLP (135 Km).* Orva Ingeniería. 1990.

121 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la Ampliación y rectificación La Muralla (Carretera Federal 57).* Lyon.

122 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento carretero de la Paz.* DICSA. 1995.

123 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento de Colima.* Lyon. 1998.

124 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del libramiento oriente de SLP.* Tecnologías y Sistemas para Control Ambiental. 1992.

125 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del Libramiento Manzanillo, Colima.* Tecnologías y Sistemas para Control Ambiental. 1994.

126 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la Carretera Celaya-Salamanca tramo libramiento Salamanca.* Planeación y Proyectos de Ingeniería. 1998.

127 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento Poniente de Tlaxcala.*

128 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del Libramiento Nororiente de Querétaro.* 1993.

129 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del libramiento Norte de la zona Metropolitana de la Ciudad de México.* SCT. Asesoría S. 1992.

130 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Los Mochis-Navojoa.* An Consultores. 1992.

131 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general Autopista Jiménez-Límite de los estados Chihuahua y Durango tramo Corralitos.* Flores S. R. M. (Pisanty).1994.

132 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del libramiento Poniente Tampico, Tamaulipas.* Cultura Ecológica. 1991.

133 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general la Carretera cuota Mérida-Cancún tramo Kantunil-Cancún.* Consultores para el Desarrollo S. A. de C. V. 1991.

134 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Mazatlán-Culiacán tramo 0+000 al 183+000 Sinaloa*. An Consultores. 1992.

135 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la Carretera México-Querétaro.*

136 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera México-Toluca.*

137 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera México-Guadalajara tramo Atizapán-Atlacomulco.* Flores S. R. M.1995.

138 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Morelia-Lázaro Cárdenas tramo Nueva Italia Infiernillo.* IDDEC. 1996.

139 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Morelia-La Barca*. 1995.

140 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Mococha-Baca.* Orva Ingeniería. 1996.

141 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Monterrey-Nuevo Laredo.* Flores S. R. M.1992.

142 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la ampliación de la carretera Monclova-Sabinas.* 1994.

143 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Informe preventivo de *la c*arretera *La Venta.1997.*

144 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Morelia-Pátzcuaro.* An Consultores.

145 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Naica-Sta. Gertrudis.* Lyon. 1997.

146 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Ojo Caliente-Sta. Cruz Coahuila.* Espacios Verdes. 1997.

147 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la Carretera Coacalco-Yautepec.* Lyon. 1997.

148 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera México-Quéretaro tramo Palmillas-Querétaro.* SCT. Pisanty L. J. 1995.

149 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Perote–Libramiento Xala, Tamarindo.* Informe preventivo. SCT.

150 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Puente Internacional Piedras Negras Coahuila.* Lyon. 1996.

151 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Puente Maviri, en la Bahía de Topolobampo* Sinaloa. Manejo de Recursos S.C. 1996.

152 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Puente Tetahuawi en la bahía de San Carlos, Guaymas, Sonora.* Grupo. Asag 1995.

153 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo del Puente Internacional Zaragoza.*

154 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general del Acceso al Puente Internacional Laredo III, Tamaulipas.* Pisanty L. J. 1996.

155 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la Autopista Puerto Vallarta-Cruz de Huenacaxtle.*. Lyon. -

156 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de Puerto Peñasco.*

157 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera periférica Cozumel, Quintana Roo.* Sociedad para el Manejo de los Recursos Silvestres S. C. 1997.

158 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Querétaro-SLP tramo La Paz-límite de los estados con SLP.* IDDEC. 1995.

159 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Ramales de la Costa de Jalisco.* ECO Ingeniería. 1997.

160 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Aguascalientes-Zacatecas tramo Rincón de Romos entronque Guadalupe*. ECO. Ingeniería. 1997.

161 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la ampliación de la carretera Ramal Culiacán-Costa-Rica-Sinaloa.* An Consultores. 1992.

162 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Saltillo-Monterrrey-Coahuila-Nuevo León.* Planeación y Proyectos de Ingeniería. 1998.

163 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la autopista Sayula Veracruz-Ocozocuautla Chiapas.* IDDEC. 1991.

164 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general la carretera Guadalajara-Colima.* Planeación y Proyectos de Ingeniería. 1998.

165 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad intermedia de la carretera Tenosique-El Ceibo.* Flores S. R. M. 1996.

166 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Torreón-Cuencamé.* IDDEC. 1992.

167 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tampico- Linares tramo Cuauhtémoc-Ciudad Victoria.* Solta Pruna.

168 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tepic Nayarit-Mazatlán Sinaloa.* Centro de Ecología-UNAM. 1998.

169 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Chihuahua-Ciudad Juárez.*

170 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Villahermosa-Zacatal.* Consultores en Ingeniería Civil.

171 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Yautepec-Ayala Morelos.* Eco Ingeniería. 1997.

172 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Informe Preventivo de la carretera Zapotlanejo-Lagos de Moreno, Jalisco.* Orva Ingeniería.

173 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Manifestación de impacto ambiental modalidad general de la carretera Tuxpan-Tampico.* Solta Pruna S.A. de C.V.

Publicaciones.

1 OGLESBY, C. *Ingeniería de carreteras.* Ed. CECSA. México, 1969.

2 SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. *Normas para construcción e instalaciones. Carreteras y autopistas. Estructuras y obras de drenaje.* 1984.

CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: http://www.imt.mx
publicaciones@imt.mx