



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

Apoyo a Políticas y Regulaciones
para el Crecimiento Económico

53

Coediciones

Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y al cambio climático

Guatemala, junio de 2013

iarna

Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y al cambio climático

Junio, 2013

La realización de esta publicación fue posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América proporcionado a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) bajo el contrato AID-520-TO-11-00001. El contenido aquí expresado es responsabilidad exclusiva de los autores y el mismo no necesariamente refleja las opiniones de la USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Créditos

Este documento fue elaborado por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar (URL), bajo subcontrato (Grant Number: 1071-36-13-FOG-0204-01) con *Weidemann Associates* para el proyecto de Apoyo a Políticas y Regulaciones Para el Crecimiento Económico de USAID.

Coordinación del estudio:

Juventino Gálvez
Héctor Tuy

Investigadores asociados involucrados:

Carlos Alberto Duarte Carranza
Marco Aurelio Juárez Calderón
Francisco Leonel López Benítez
Carlos Roberto Cobos
Mario René Jordán Zabaleta

Contrapartes:

Luis Castañeda
Alejandra Sobenes

Contenido

- I. INTRODUCCIÓN..... 1**
- II. ANTECEDENTES..... 2**
 - 2.1. Objetivos..... 2
- III. IMPORTANCIA DE LOS CAMINOS RURALES EN GUATEMALA 3**
 - 3.1. La infraestructura vial y los caminos rurales 3
 - 3.1.1 Situación actual de la infraestructura vial 3
 - 3.1.2 Situación actual de los caminos rurales..... 4
 - 3.2. Función socioeconómica de los caminos rurales 6
 - 3.3. La infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano occidental de Guatemala 7
 - 3.3.1 Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para el desarrollo del potencial de producción agrícola regional. Estudio de caso: El altiplano occidental de Guatemala (IARNA-URL, 2008) 8
 - 3.3.2 Metodología para la identificación de las rutas necesarias para promover el crecimiento agrícola en el altiplano occidental de Guatemala y los resultados obtenidos (IARNA-URL, 2008) 9
 - 3.4. Marco normativo y regulatorio nacional vigente para la diseño, construcción y mantenimiento de los caminos rurales 14
 - 3.4.1 Competencias institucionales 14
 - 3.4.2 Normas nacionales e internacionales relacionadas con los caminos rurales 20
- IV. VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DE CAMINOS RURALES, A LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO..... 23**
 - 4.1. Generalidades sobre el cambio climático..... 23
 - 4.2. Aspectos climáticos que afectan los caminos rurales..... 24
 - 4.3. Vulnerabilidad de los caminos rurales..... 25
 - 4.3.1 Conceptos introductorios 25
 - 4.3.2 Evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura nacional de caminos rurales ante las amenazas hidrometeorológicas asociadas al cambio climático y la variabilidad climática 26
 - 4.3.3 Discusión 30
- V. ORIENTACIONES PARA INCORPORAR CONSIDERACIONES DE ADAPTACIÓN A LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA GESTIÓN DE CAMINOS RURALES 31**
 - 5.1. Análisis ambiental 31
 - 5.1.1 Predicción, valoración y prevención de impactos negativos en el ambiente, población y medios de vida..... 32
 - 5.2. Evaluación local de la vulnerabilidad a través del enfoque V&A en el desarrollo de proyectos de caminos rurales 33

5.2.1	<i>Paso 1: Evaluar e identificar vulnerabilidades</i>	35
5.2.2	<i>Paso 2: Identificar las opciones de adaptación</i>	36
5.2.3	<i>Paso 3: Realizar el análisis</i>	37
5.2.4	<i>Paso 4: Seleccionar un curso de acción</i>	39
5.2.5	<i>Paso 5: Implementación de las adaptaciones</i>	39
5.2.6	<i>Paso 6: Evaluación de las adaptaciones</i>	39
5.3.	<i>Análisis hidrológico y diseño hidráulico</i>	40
5.3.1	<i>Algunas consideraciones previas</i>	40
5.3.2	<i>Procedimiento para la estimación de los caudales de diseño</i>	41
5.4.	<i>Buenas prácticas propuestas para la adaptación de los caminos rurales a la variabilidad y cambio climático</i>	53
5.4.1	<i>Diseño y construcción de caminos rurales</i>	54
5.4.2	<i>Zonas de exclusión (listado negativo para la ubicación de caminos rurales)</i>	55
5.4.3	<i>Mantenimiento de caminos rurales</i>	86
VI.	BIBLIOGRAFÍA	88
VII.	GLOSARIO	89

Lista de cuadros

Cuadro 1. Longitud de la red vial por tipo de rodadura, periodo 2006-2013.....	3
Cuadro 2. Distribución de la red vial completa y los caminos rurales a nivel departamental, y su relación con la población departamental.....	4
Cuadro 3. Superficie destinada a cultivos anuales en el altiplano occidental de Guatemala	9
Cuadro 4. Superficie destinada a cultivos anuales en el altiplano occidental de Guatemala	10
Cuadro 5. Objetivos y funciones de las instituciones gubernamentales relacionadas con la planificación de los caminos rurales.....	14
Cuadro 6. Objetivos y funciones de las instituciones que ejecutan y/o supervisan proyectos de caminos rurales en el país	18
Cuadro 7. Objetivos y funciones de las instituciones que brindan mantenimiento a los caminos rurales en el país.....	19
Cuadro 8. Componentes e indicadores utilizados en la evaluación de vulnerabilidad de la infraestructura nacional de caminos rurales.....	27
Cuadro 9. Listado ilustrativo de opciones de adaptación identificadas para un proyecto de construcción de caminos rurales.....	37
Cuadro 10. Cuadro ilustrativo para la evaluación de opciones de adaptación.....	38
Cuadro 11. Coeficiente de escorrentía.....	43
Cuadro 12. Parámetros medidos y calculados para la estimación del caudal de diseño por el método racional.....	51
Cuadro 13. Relaciones comunes de taludes estables, para diferentes condiciones de suelo/piedra.....	73

Lista de figuras

Figura 1. Áreas con potencial de producción hortícola en el altiplano de Guatemala	11
Figura 2. Áreas y tramos propuestos para inversión en infraestructura vial en el altiplano de Guatemala.....	13
Figura 3. Curva de mejor ajuste de las tendencias observadas en la precipitación	23
Figura 4. Días al año con lluvia mayor a 40 mm, ciudad de Guatemala, período 1970-2003	24
Figura 5. Vulnerabilidad de la infraestructura de caminos rurales ante las amenazas asociadas al cambio y la variabilidad climática.....	29
Figura 6. Curva de intensidad duración y frecuencia de la Estación de INSIVUMEH	46
Figura 7. Tramo carretero propuesto	47
Figura 8. Trazo del área de drenaje para el punto 1	48
Figura 9. Cauce más largo y polígonos para la estimación del área	49
Figura 10. Definición del área de drenaje del punto 2	50
Figura 11. Curvas IDF para el área del proyecto.....	50
Figura 12. Opciones típicas para drenaje de la superficie del camino	57
Figura 13. Vado ondulante superficial como drenaje transversal, para desalojar el agua fuera de la superficie del camino de manera eficiente y económica, sin tener que usar tubos de alcantarilla.....	58
Figura 14. Estructuras de entrada (o boca de caída) de mampostería, concreto o metal para controlar el agua en la cuneta y encauzarla hacia el tubo de drenaje transversal y evitar la socavación de la cuneta.....	60
Figura 15. Protección de márgenes de río empleando enrocamiento	62
Figura 16. Ejemplo de construcción de estructuras de drenaje en puntos críticos	65
Figura 17. Con vados o cruces en estiaje, el borde aguas debajo de la estructura debe generalmente protegerse contra la socavación, mientras que todo el perímetro mojado (al nivel de aguas máximas) del camino debe reforzarse.....	67
Figura 18. Área de drenaje colapsada como consecuencia de la tormenta tropical Stan	71
Figura 19. Puente Santa María de Jesús, Quetzaltenango	72
Figura 20. Tipo de revestimientos usados comúnmente para superficies de caminos rurales	76
Figura 21. Escorrentía superficial en caminos descubiertos formando zanjas y cárcavas	80
Figura 22. Cárcava típica producida por exceso de agua concentrada sobre suelos erosionables y/o por prácticas inadecuadas de uso de suelo.....	83
Figura 23. Detalle de la separación de las estructuras para el control y recuperación de cárcavas.....	84

I. INTRODUCCIÓN

Los caminos rurales constituyen infraestructura esencial para el desarrollo social y económico de las comunidades rurales, comúnmente ubicadas en zonas donde el acceso a los servicios básicos es muy limitado y las dinámicas comerciales se ven obstaculizadas por las dificultades para el transporte de los productos y los insumos.

En países como Guatemala, la conceptualización, el diseño y la construcción de caminos rurales es indispensable para fomentar el desarrollo rural integral, particularmente cuando se desea promover a pequeños productores agropecuarios y otras actividades no agrícolas de pequeña escala. Numerosos estudios econométricos en los que se relaciona el desarrollo agrícola en espacios rurales con diversas variables, muestran consistentemente, el papel preponderante que juegan los caminos rurales, situándose cercanamente al papel de la inversión en investigación agrícola.

La infraestructura de caminos rurales, no obstante, debe ser parte de un conjunto de condiciones complementarias para que, haciendo sinergia entre sí, conduzcan al anhelado desarrollo rural integral. En este sentido, el desarrollo rural debe concebirse como un proceso de mejoramiento cuantitativo y cualitativo que puede sostenerse en el tiempo, al menos para las dimensiones ambiental, económica, social e institucional. El mejoramiento debe ser simultáneo para estas dimensiones, debe ser sistémico, no sectorial.

En el contexto de esta definición genérica y operativa de desarrollo rural es evidente que la dimensión ambiental tiene un peso similar al de las otras dimensiones. Se trata de asegurar que todos los componentes del ambiente natural no sean mermados a niveles que comprometan el necesario balance con las otras dimensiones.

En este sentido, la construcción de caminos rurales debe planificarse de manera responsable para asegurar su inserción armónica en el paisaje y estratégica en los centros poblados. Atendiendo características técnicas mínimas durante su planificación, construcción y mantenimiento, es posible lograr estos propósitos, además de conseguir otros elementos positivos como la reducción de costos durante su construcción y mantenimiento y la más larga vida útil posible.

Históricamente, los caminos rurales han sido afectados por eventos naturales asociados al clima, como los deslizamientos de tierra, las inundaciones y las corrientes. Esta situación tiende a agravarse con los efectos cada vez más evidentes del cambio y la variabilidad climática. A lo largo de su contenido, el manual enfatiza la consideración de que un drenaje adecuadamente diseñado y construido es un elemento clave –y poco atendido– para proteger las estructuras que componen los caminos y contribuir con su buen desempeño óptimo a lo largo de su vida útil.

Se considera que el presente manual constituye un valioso auxiliar para los planificadores de caminos rurales. En éste, se formulan recomendaciones para integrar técnicas sencillas en todas las fases del ciclo de proyectos, desde la planificación, diseño, construcción y conservación, hasta su gestión y toma de decisiones. Se hacen consideraciones especiales con el objetivo central de inducir la adopción de medidas de adaptación al cambio y la vulnerabilidad climática, buscando con ello maximizar su aporte a propósitos de desarrollo rural, aun, frente a la inminente amenaza de estos eventos climáticos globales de conocida repercusión local.

El manual utiliza una terminología sencilla y se apoya en esquemas y figuras ilustrativas, con el propósito de facilitar su entendimiento y utilización por parte de planificadores de caminos rurales con diversos niveles educativos.

Hacemos énfasis en que la presente publicación no pretende sustituir ni descalificar ninguno de los instrumentos normativos y técnicos existentes en el medio nacional, sino por el contrario, está enfocada en complementar la normativa existente en cuanto a la incorporación de consideraciones de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el desarrollo de proyectos relacionados con la introducción y mejoramiento de infraestructura de caminos rurales.

II. ANTECEDENTES

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), a través del Proyecto Apoyo a Políticas y Regulaciones para el Crecimiento Económico contribuye con Guatemala con el propósito de fortalecer la capacidad institucional nacional para llevar a cabo programas de seguridad alimentaria enmarcados en los objetivos de la iniciativa Feed the Future de USAID.

Dentro de este contexto, se ha identificado la necesidad de elaborar un manual dirigido a agencias gubernamentales, de desarrollo y gobiernos locales, que contenga los principios y criterios que deben guiar las buenas prácticas, estándares y/o normas para el diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales, con el fin que dichas infraestructuras se adapten mejor a los efectos asociados a la variabilidad y el cambio climático.

2.1. Objetivos

El presente manual ha sido desarrollado para cumplir con los siguientes objetivos:

- Proveer una herramienta que oriente a las agencias gubernamentales, de desarrollo y gobiernos locales para mejorar sus capacidades en materia de la gestión de este tipo de infraestructura, con enfoque de adaptación al cambio climático.
- Identificar y desarrollar las buenas prácticas, estándares y normas de diseño, construcción, y mantenimiento de caminos rurales para mejorar la adaptación de éste tipo de infraestructura al cambio climático.

Para cumplir con los anteriores objetivos, se ha requerido de la participación del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar. El equipo técnico multidisciplinario que el IARNA ha designado para la elaboración de esta publicación, ha concentrado sus esfuerzos en los temas siguientes:

- a) Efectuar una revisión exhaustiva de los compendios de normas y estándares técnicos nacionales y regionales, en busca de la existencia de consideraciones de adaptación de los caminos rurales al cambio y la variabilidad climática.
- b) Discutir sobre los aspectos climáticos que afectan a los caminos rurales
- c) Evaluar, a escala nacional, la vulnerabilidad de los caminos rurales existentes
- d) Formular recomendaciones y buenas prácticas, para incorporar consideraciones de adaptación en todas las etapas del ciclo de construcción de caminos, haciéndose énfasis en las buenas prácticas de diseño, tomando en cuenta que las inversiones hechas en la prevención, tendrán un retorno significativo en el largo plazo, al reducir los costos inherentes a las reparaciones, rehabilitaciones y reconstrucciones que se podrían hacer necesarias en el futuro.

A través de esta publicación se pretende hacer un aporte significativo para fomentar la adopción de consideraciones de adaptación al cambio y la variabilidad climática en proyectos enfocados en la construcción y mejoramiento de caminos rurales, entendiendo las profundas implicaciones que la existencia y disponibilidad en el tiempo de este tipo de infraestructura, tienen en el contexto del desarrollo de las zonas rurales de nuestro país.

III. IMPORTANCIA DE LOS CAMINOS RURALES EN GUATEMALA

Los caminos rurales son un tipo de infraestructura que tienen la finalidad de asegurar que las comunidades rurales tengan acceso oportunos a bienes y servicios, que puedan promover prosperidad y crecimiento económico, con la finalidad de contribuir a la calidad de vida, el bienestar social, la salud y la seguridad de los habitantes rurales, sin que esto represente en afectar la calidad del medio ambiente.

La planificación y el análisis de caminos rurales son actividades clave para garantizar la satisfacción de las necesidades presentes y futuras de los usuarios de las comunidades, que minimice los impactos al medio ambiente, y que además, tome en cuenta las necesidades futuras de la región. Para esto se requiere considerar dos elementos básicos: a) las demandas actuales y futuras del camino, y b) la ubicación del mismo.

La ubicación de los caminos es esencial para garantizar la sostenibilidad propia del camino, evitando excesos de costos en su construcción, determinando los mejores accesos a las zonas carentes de accesos, y a la vez, minimizando la distancia de recorrido entre los puntos de destino.

3.1. La infraestructura vial y los caminos rurales

La Red Vial de la República de Guatemala está clasificada de la siguiente forma: i) Según tipos de rutas: Centroamericanas, Nacional y Departamentales, a las que habría que añadir los Caminos Rurales de conexión entre aldeas; ii) según aspectos estratégicos de comunicación: Primaria, Secundaria y Terciaria (CIV-DGC, 2007).

No existe una definición estándar para los caminos rurales. De acuerdo al documento Reformulación y Actualización del Plan de Desarrollo Vial, periodo 2008-2017 (CIV-DGC, 2007), los tramos que conforman la Red Centroamericana, Nacional y Departamental, se definen de acuerdo a criterios de funcionalidad. Para los Caminos Rurales, el criterio empleado es: *interconectan a las comunidades rurales de los correspondientes municipios* (Pág. 28, del documento citado). Con base a esta definición, se puede interpretar que los caminos rurales se concentran en las zonas de bajo desarrollo y con un volumen de tránsito considerado como bajo.

3.1.1 Situación actual de la infraestructura vial

No existe información detallada y actualizada de la red vial del país, principalmente de los caminos rurales. Esto se explica parcialmente, porque la red vial ha mantenido una evolución constante, además de que existe un subregistro de muchos caminos de la red vial (ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Longitud de la red vial por tipo de rodadura, periodo 2006-2013

Año	Total kilómetros	Longitud de la red vial		
		Tipo de rodadura		Caminos rurales ¹
		Asfalto	Terracería	
2006	15,187.70	6,418.11	5,126.90	3,642.69
2007	15,327.11	6,497.11	5,047.90	3,782.10
2008	15,464.97	6,495.11	5,076.30	3,893.56
2009	15,700.13	6,919.91	4,679.12	4,101.10

¹ Únicamente incluye datos de la red de caminos registrados por la Dirección General de Caminos.

Año	Total kilómetros	Longitud de la red vial		
		Tipo de rodadura		Caminos rurales ¹
		Asfalto	Terracería	
2010	15,861.62	6,919.91	4,759.87	4,181.84
2011	16,004.38	6,982.19	4,802.71	4,219.48
2012	16,164.42	7,052.01	4,850.74	4,261.67
2013	16,326.06	7,122.53	4,899.24	4,304.29

Fuente: Tomado de las tendencias y metas, de las Fichas Técnicas para definir Indicadores del Plan Operativo Anual 2012 de la Dirección General de Caminos (CIV-DGC, 2012).

Al analizar la evolución de la red vial y su composición por tipo de rodadura, para el periodo 2006-2013 se observa que el total de la red vial ha crecido en promedio un 1.01% anual, mientras que solo el conjunto de caminos rurales ha crecido a razón de 2.22% anual, para el mismo periodo.

3.1.2 Situación actual de los caminos rurales

Las personas que residen en el área rural son las que tienen mayor dependencia de los caminos rurales para su movilización y desarrollo. Para el 2002, el 53.86% de la población total de la República de Guatemala se encontraba asentada en el área rural (INE, 2003), situación que se considera se mantiene de forma similar en la actualidad.

A pesar de que más de la mitad de la población nacional depende de los caminos rurales, actualmente existe una alta cantidad de comunidades que no poseen una adecuada conexión con sus municipios. Esto se evidencia al relacionar la longitud de la red vial total a nivel departamental y la población de los mismos, así como cuando se analizan únicamente los caminos rurales y la población rural en cada uno de los departamentos (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución de la red vial completa y los caminos rurales a nivel departamental, y su relación con la población departamental

Departamento	Longitud total de la red vial (carreteras y caminos)	Relación red vial / 100 habitantes	Caminos rurales	Población rural por departamento (%)	Relación caminos rurales / 100 habitantes rurales
Guatemala	824.68	0.03	39.68	14.0%	0.01
Alta Verapaz	1,114.52	0.13	217.52	79.0%	0.04
Baja Verapaz	510.26	0.24	191.96	72.7%	0.12
Chiquimula	634.55	0.19	113.55	74.0%	0.05
El Progreso	277.32	0.19	19.02	63.9%	0.02
Izabal	537.80	0.15	89.80	71.2%	0.04
Zacapa	604.40	0.27	132.40	61.1%	0.11
Jalapa	592.14	0.21	287.13	68.4%	0.17
Jutiapa	669.97	0.17	90.97	72.8%	0.03
Santa Rosa	599.27	0.18	103.27	65.1%	0.05
Chimaltenango	820.49	0.18	424.99	51.2%	0.19
Escuintla	903.00	0.18	0.00	52.3%	0.00

Departamento	Longitud total de la red vial (carreteras y caminos)	Relación red vial / 100 habitantes	Caminos rurales	Población rural por departamento (%)	Relación caminos rurales / 100 habitantes rurales
Sacatepéquez	178.40	0.06	0.00	15.8%	0.00
Quetzaltenango	622.81	0.09	168.81	44.8%	0.06
Retalhuleu	251.90	0.10	29.90	63.7%	0.02
San Marcos	1,036.43	0.12	278.43	78.2%	0.04
Sololá	421.29	0.13	107.29	51.2%	0.07
Suchitepéquez	533.42	0.13	6.42	58.9%	0.00
Totonicapán	550.74	0.15	317.24	64.2%	0.15
Quiché	969.56	0.16	324.56	75.3%	0.07
Huehuetenango	1,156.05	0.12	391.05	77.3%	0.06
Peten	1,378.70	0.38	308.70	69.9%	0.12

Fuente: elaboración propia, con base en información del documento Reformulación y actualización del Plan de Desarrollo Vial 2008-2017 (CIV-DGC, 2007) e información de población, urbana y rural del XI Censo Nacional de Población (INE, 2003).

Del cuadro anterior se observan departamentos con una baja densidad de caminos rurales. En Alta Verapaz, Chiquimula y Jutiapa, en donde más del 70% de la población reside en el área rural, únicamente el 25% de la red vial departamental registrada, es considerada como caminos rurales. Es decir, en estos departamentos el 75% de la red vial está al servicio de la población urbana (que corresponde a menos del 30%), mientras que el restante 25% de la red vial, atiende a la población rural (que supera el 70% de la población). Esta información muestra la de accesos a muchas de las poblaciones rurales con sus municipios y departamentos.

También se debe tomar en cuenta que existe un fuerte subregistro de caminos rurales. Se estima que existen cerca de 10,000 kilómetros de *caminos no registrados*² que dependen de las municipalidades (CIEN, 2011). El primer esfuerzo efectuado en el inventario de los “*caminos registrados*” fue financiado a través del Banco Interamericano de Desarrollo, y abarcó aproximadamente 9,100 kilómetros; una segunda etapa, financiada por el Banco Mundial efectuó el inventario de los “*caminos no registrados*” llegando a inventariar aproximadamente 10,300 kilómetros (Mendoza, Berditchevsky, Mendoza, & Lara, 2000).

La falta de registro de la totalidad de los caminos rurales hace a los mismos más vulnerables a los daños ocasionados por el clima, así como a las comunidades que estos comunican. Lo anterior se debe a que la Dirección General de Caminos, como entidad rectora del sector transporte a nivel nacional, únicamente planifica y le da mantenimiento a los caminos rurales registrados. Esto indica que para el caso de los caminos rurales no registrados, no se cuenta con la certeza de que tendrán un mantenimiento adecuado y constante. Esto se comprueba con el resultado estratégico del Plan Operativo de la DGC propuesto para el periodo 2013 – 2015: *la pavimentación y mejoramiento de la red vial pavimentada, de terracería y caminos rurales registrados* (CIV-DGC, 2013). Se estima que de la totalidad de caminos rurales, solo un tercio recibe mantenimiento y probablemente menos del 5% a través de un programa rutinario de mantenimiento (CIEN, 2011).

² Caminos no registrados: son aquellos caminos, generalmente no pavimentados, que no tiene una entidad de mantenimiento responsable; en cambio, el mantenimiento de los *caminos registrados* se efectúa a través de la Dirección General de Caminos (DGC) y de la Unidad de Mantenimiento por Contrato de COVIAL.

3.2. Función socioeconómica de los caminos rurales

El papel de la infraestructura hacia la sociedad es proporcionar los servicios básicos para que los ciudadanos y empresas puedan desarrollar sus actividades; entre estos servicios se incluye la infraestructura de carreteras (CIEN, 2011).

Existen muchos estudios que demuestran que la cantidad y calidad de la infraestructura de un país condiciona el desarrollo económico y social. Varios autores, como Ahmed y Donovan (1992), el Banco Mundial (1994), Lipton y Ravallion (1995), Booth, Hanmer y Lovell (2000), todos citados por Escobal & Ponce, 2002, encontraron vínculos entre la reducción de la pobreza y la provisión de infraestructura rural. Entre sus conclusiones indican la existencia de una fuerte asociación entre incremento de la dotación de infraestructura rural, el crecimiento agrícola y la reducción de la pobreza (Escobal & Ponce, 2002).

Estudios del Banco Mundial han demostrado que el aumento de la infraestructura y el crecimiento de la producción nacional, están fuertemente relacionados: un incremento de 1% en el capital de infraestructura se asocia con un crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del 1% (The World Bank, 1994). Aunque existen otros factores que influyen en el desarrollo, la infraestructura es un factor de desarrollo económico de primer orden, la carencia de ella pueda ser un freno en el crecimiento y desarrollo económico y social (CIEN, 2011).

Para Guatemala, la principal función los caminos rurales es la interconexión de las comunidades rurales con sus correspondientes municipios (CIV-DGC, 2007). El Plan Maestro Nacional de Transporte (CIV, 1996) propone optimizar la infraestructura vial existente, con la finalidad de reducir los costos de transporte y aumentar la confiabilidad de los servicios, esto en beneficio de la población guatemalteca en general y de los usuarios de las carreteras en particular. El Plan de Desarrollo Vial 2008-2017 dedica especial atención a la mejora de la accesibilidad en las zonas de mayor pobreza, como contribución a su progreso y desarrollo económico, propuesta que se basa en el marco de los Acuerdos de Paz de 1996, que buscan el impulso a la calidad de vida de la población de Guatemala (CIV-DGC, 2007).

Existen mecanismos microeconómicos por los cuales la inversión en infraestructura vial genera un impacto positivo en el crecimiento económico y la reducción de la pobreza (Gannon & Liu, 1997, citado por Escobal & Ponce (2002)). La inversión en caminos rurales permite reducir los costos de producción y los costos de transacción, lo que promueve el comercio y facilita la división del trabajo y la especialización, elementos clave para un crecimiento económico sostenido. Blocka y Webb (2001) citados por Escobal & Ponce (2002), encuentran que la mayor densidad vial genera incentivos para la especialización, lo que permite una agricultura más intensiva en insumos modernos.

Cuando se evalúa el impacto de los proyectos de caminos rurales, estos tienden a orientarse al ahorro en tiempo de transporte y costos de acceso a los mercados de productos e insumos, por medio del costo generalizado de viaje, o sobre los beneficios del acceso a los servicios sociales, como educación o salud, lo cual es una evaluación parcial de estos beneficios (Escobal & Ponce, 2002; Godínez, 2010).

Existen otros beneficios asociados con el mejoramiento de los caminos rurales. Corral y Reardon (2001) para Nicaragua, De Janvry y Sadoulet (2001) para México, y Escobal (2001) para el Perú, encontraron relaciones significativas entre distintos indicadores de vialidad y las oportunidades de empleo rural no agropecuario, tanto en actividades salariales como no salariales. Inclusive muestran que el acceso vial puede compensar la falta de otros activos públicos y privados (Escobal & Ponce, 2002).

Otros estudios han evaluado el impacto social de la provisión de infraestructura de transporte rural, encontrando que la mejora en los caminos rurales impacta positivamente en las condiciones de las

comunidades, por lo que se describen algunas conclusiones de estudios citados por Escobal & Ponce (2002):

- Windle y Cramb (1996) encuentran un impacto positivo de una mejor infraestructura vial en indicadores de salud materna, nutrición y acceso a la escuela.
- Porter (2002), evaluando el impacto del acceso vial en la vida de los pobres rurales del África subsahariana, encontró que el deterioro en las condiciones de los caminos tiene un impacto negativo significativo en el acceso a servicios de salud.
- Ahmed y Hossain (1990) en Bangladesh, encontraron que las comunidades con mejor acceso vial tenían mayores niveles de producción agrícola, mayores ingresos totales y mejores indicadores de acceso a servicios de salud, en particular para las mujeres. Asimismo, encontraron que los caminos habrían incrementado las oportunidades de ingresos salariales de aquellos que no tenían tierra agrícola.
- Binswanger, Khandker y Rosenzweig (1993) en la India, muestran que la inversión en infraestructura vial permitió el crecimiento de la producción agrícola, del uso de fertilizantes y de la expansión de la oferta de crédito.
- Levy (1996) evaluó el impacto socioeconómico de la rehabilitación de caminos en Marruecos, mostrando que además de la reducción de costos de transporte, también se generaron incrementos significativos en la producción agrícola, así como cambios importantes en la cartera de cultivos y en el uso de insumos y tecnologías. Además identificó las relaciones causales entre la mejora de la infraestructura vial y el acceso a educación, particularmente de las niñas, así como entre dicha mejora y el incremento del uso de la infraestructura pública de salud.

3.3. La infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano occidental de Guatemala

Numerosos estudios econométricos, que relacionan la tasa de desarrollo agrícola con diversas variables, muestran consistentemente el papel preponderante de los caminos rurales (IARNA-URL, 2008). El estudio “*Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala*”, realizado por el IARNA-URL (2008) analizó la función de los caminos rurales con propósitos de reducción de la pobreza, a través de su impacto en el desarrollo agrícola. Información contenida en el estudio, demuestra que una unidad de gasto en caminos rurales es mucho más eficiente, en términos de reducción de pobreza, que cualquier otro tipo de gasto, particularmente aquel que se dirige directamente a la población pobre.

Para el caso del altiplano guatemalteco, existen indicadores que evidencian la relación entre el acceso a las carreteras, principalmente los buenos accesos y las inversiones en los sistemas de producción agrícola. Al tomar en cuenta que el 40% del valor monetario de la producción agrícola del altiplano corresponde a la producción hortícola, y que el 70% de las áreas destinadas a la producción hortícola se encuentran a menos de 2.5 kilómetros de una carretera asfaltada y/o a menos de un kilómetro de una carretera de terracería, se puede evidenciar la importancia de los caminos y su condición, para el desarrollo agrícola de las comunidades (IARNA-URL, 2008).

En virtud de este evidente potencial, y considerando que la región del altiplano se caracteriza por la alta incidencia de pobreza entre sus habitantes, promover el desarrollo agrícola es de importancia estratégica. Las áreas de producción agrícola, al ser destinadas a cultivos con alta demanda en mercados

nacionales e internacionales, pueden incrementar la demanda por fuerza laboral local y de caminos de acceso adecuados para llevar las producciones a los centros de proceso y distribución.

Esta situación tiende a impactar en la condición de los caminos rurales, a lo cual se pueden hacer dos consideraciones importantes (IARNA-URL, 2008):

- a) Cuando los caminos son malos, el servicio de abastecimiento de insumos para la producción y compra de los productos agrícolas para la comercialización es prestado por uno o pocos intermediarios, con lo que desaparece la competencia, posiblemente porque bajo esas condiciones los costos de operación, el transporte es alto, disuadiendo a otros potenciales prestadores de estos servicios. Como resultado de lo anterior, los márgenes de ganancia del intermediario se vuelven más altos, desincentivando a los agricultores a invertir en cultivos de alto valor comercial.
- b) Para lograr un desarrollo agrícola acelerado se necesita una serie de servicios como crédito, comercialización, provisión de insumos y extensión. Todo ello requiere personal calificado, quienes deben tener acceso a los servicios que proporcionan las áreas urbanas y, por lo tanto, precisan de caminos transitables durante todo el año para poder acceder a estos servicios en forma rápida y a bajo costo. De forma análoga, el desarrollo se da cuando actividades económicas similares, como la producción hortícola, se localizan geográficamente en puntos cercanos entre sí, de manera que el volumen de producción alcance cierto tamaño, y que los productores se beneficien uno a otro por su cercanía, en estas condiciones los caminos son esenciales para lograr esta conglomeración.

3.3.1 *Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para el desarrollo del potencial de producción agrícola regional. Estudio de caso: El altiplano occidental de Guatemala (IARNA-URL, 2008)*

El altiplano guatemalteco presenta altas tasas de crecimiento poblacional, superiores a las tasas de generación de fuentes de empleo, lo que da como resultado, en altas tasas de desempleo y subempleo, con un efecto indirecto en generar fuerte migración a las ciudades y/o al extranjero, especialmente a Estados Unidos. La falta de condiciones para el crecimiento agrícola de esta región, como las deficiencias en la infraestructura vial, ausencia o deficiencia en los servicios de extensión e investigación agrícola, deficiencia en opciones de acceso a crédito, debilidad o ausencia de las estructuras organizativas, etc., contribuyen a incrementar la migración de los pobladores de la región.

El patrón de agricultura prevaleciente en el altiplano es el de subsistencia, dominado por cultivos como el maíz, frijol y hortalizas de temporada, lo cual implica que la demanda de actividades a lo largo del año no es uniforme, concentrándose la mayor parte de dicha demanda durante la época de siembra, limpia y cosecha. Por esta situación, las familias campesinas emplean todo su potencial de mano de obra en la época de siembra, limpia y cosecha, mientras que en el resto del año prevalecen condiciones de subempleo, resultantes de la ausencia de oportunidades de empleo no-agrícolas. Debido a esta característica estructural, la agricultura de subsistencia resulta inadecuada si se desea incrementar las oportunidades de empleo, ya que por su propia naturaleza, perpetúa un estado de subempleo.

Un aspecto importante de la región del altiplano es que la mayor parte de su producción agrícola proviene de unidades productivas pequeñas: el 47.5% de la superficie total con cultivos anuales y permanentes se encuentra en fincas menores de 2 manzanas (1.40 ha), y el 27.5% del total de la superficie con cultivos anuales o permanentes, se encuentra en fincas menores de 5 manzanas (3.5 hectáreas).

La mayor cantidad de área destinada a la producción agrícola de cultivos anuales en el altiplano proviene de fincas censales pequeñas, debido al carácter minifundista de la región y la relevancia de la producción de granos básicos en la conformación de la agricultura regional (Ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie destinada a cultivos anuales en el altiplano occidental de Guatemala

Tamaño de finca (ha)	Granos básicos (ha)	Hortalizas (ha)	Otros cultivos anuales (ha)
< 0.7	119,076	13,565	523
0.7 – 1.4	88,409	9,861	878
1.4 – 3.5	74,822	7,453	1,063
3.5 – 7.0	25,860	2,231	433
7.0 - 22.4	15,073	1,259	278
22.4 - 44.8	2,542	386	79
44.8 – 448.0	2,596	275	176
448.0 – 896.0	276	0	128
896.0 – 2,240.0	420	0	0
>2,240.0	25	0	0
Total	329,099	35,030	3,558

Fuente: Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala (IARNA-URL, 2008).

La producción de hortalizas de exportación ha sido un fenómeno creciente en la agricultura de la región a partir de la década de los ochenta. Algunos de los factores que han favorecido esta expansión son las condiciones climáticas y edáficas adecuadas para el desarrollo de la horticultura y la posibilidad, dada su condición de cultivo minifundista, de obtener productos de alta calidad como consecuencia de la atención que el agricultor brinda al cultivo en todas las fases del proceso productivo. Con base en datos de producción reportados por el IV Censo Nacional Agropecuario 2003 (INE, 2005) y con precios promedio de productos agrícolas, el IARNA estimó que el valor de la producción hortícola del altiplano constituye aproximadamente el 37% del valor de la producción hortícola nacional.

3.3.2 Metodología para la identificación de las rutas necesarias para promover el crecimiento agrícola en el altiplano occidental de Guatemala y los resultados obtenidos (IARNA-URL, 2008)

Partiendo de la premisa de que el crecimiento agrícola puede impulsar procesos de desarrollo económico rural, IARNA propone una metodología que tiene como propósito central, la identificación de las rutas que deben encontrarse en estado óptimo para favorecer el crecimiento agrícola de la región del altiplano occidental de Guatemala.

Un insumo primordial para la planificación de inversiones en infraestructura vial es la identificación de áreas con condiciones naturales para el crecimiento óptimo de cultivos con potencial claro de obtener buen posicionamiento en los mercados nacionales e internacionales. Para identificar estas áreas, se utilizaron dos insumos: a) el índice de ventaja comparativa de los principales cultivos de la región, y b) los requerimientos agronómicos de los mismos, que definen las áreas con potencial.

a) Índice de ventaja comparativa revelada de los principales cultivos de la región

El índice de ventaja comparativa revelada sirve para conocer la especialización exportadora de un país o región. Se obtiene para los diferentes productos en evaluación, por medio de calcular la diferencia entre la ventaja comparativa revelada para exportaciones y la ventaja comparativa revelada para importaciones. Para este análisis, el índice de ventaja comparativa revelada fue calculado por Vargas (2005) para varios productos agrícolas que se cultivan en el altiplano guatemalteco (Ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Superficie destinada a cultivos anuales en el altiplano occidental de Guatemala

Producto	Ventaja comparativa revelada por		Ventaja comparativa revelada
	Exportaciones	Importaciones	
Coles	+4.18	-5.10	+9.28
Café en grano	+5.20	-3.80	+9.00
Lechuga	+1.89	-6.33	+8.22
Arveja	+5.96	-0.10	5.89
Ejote	+2.75	-2.48	+5.23
Zanahoria	+2.42	-2.30	+4.72
Papa	+2.16	-0.59	+2.75
Tomate	+1.45	-3.85	+5.30
Ajo	+0.03	-0.74	+0.77

Fuente: Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala (IARNA-URL, 2008).

Para los productos presentados en el cuadro anterior, el índice de ventaja comparativa revelada resulta de un valor positivo para exportaciones y un valor negativo para importaciones. Estas cifras señalan el buen posicionamiento de la producción nacional de cada producto en el mercado internacional, así como de la satisfacción de la demanda doméstica con la producción nacional. Por esta situación, para la región se seleccionaron los cultivos: brócoli, coliflor, zanahoria, papa, lechuga, arveja china y cebolla, como un conjunto de productos hortícolas que, junto al cultivo de café en fincas pequeñas, pueden dar un carácter comercial a la actividad productiva del pequeño agricultor.

b) Requerimientos agronómicos de los cultivos seleccionados

En función de los requerimientos agronómicos de cada uno de estos cultivos en términos de elevación, temperatura, precipitación pluvial, textura del suelo, drenaje, pendiente y profundidad del suelo, mediante un proceso de análisis espacial, se determinaron las áreas que, dentro de la región del altiplano, son aptas para el crecimiento de estos cultivos (Ver Figura 1).

c) Identificación preliminar de áreas prioritarias para la inversión en infraestructura vial

Los datos resultantes de los dos pasos anteriores, junto a la información cartográfica de la red vial del país, constituyeron el principal insumo para delimitar áreas que deben tomarse en cuenta en programas de inversión pública con fines de promoción de crecimiento económico rural. Para esto se tomaron en cuenta otros criterios, como:

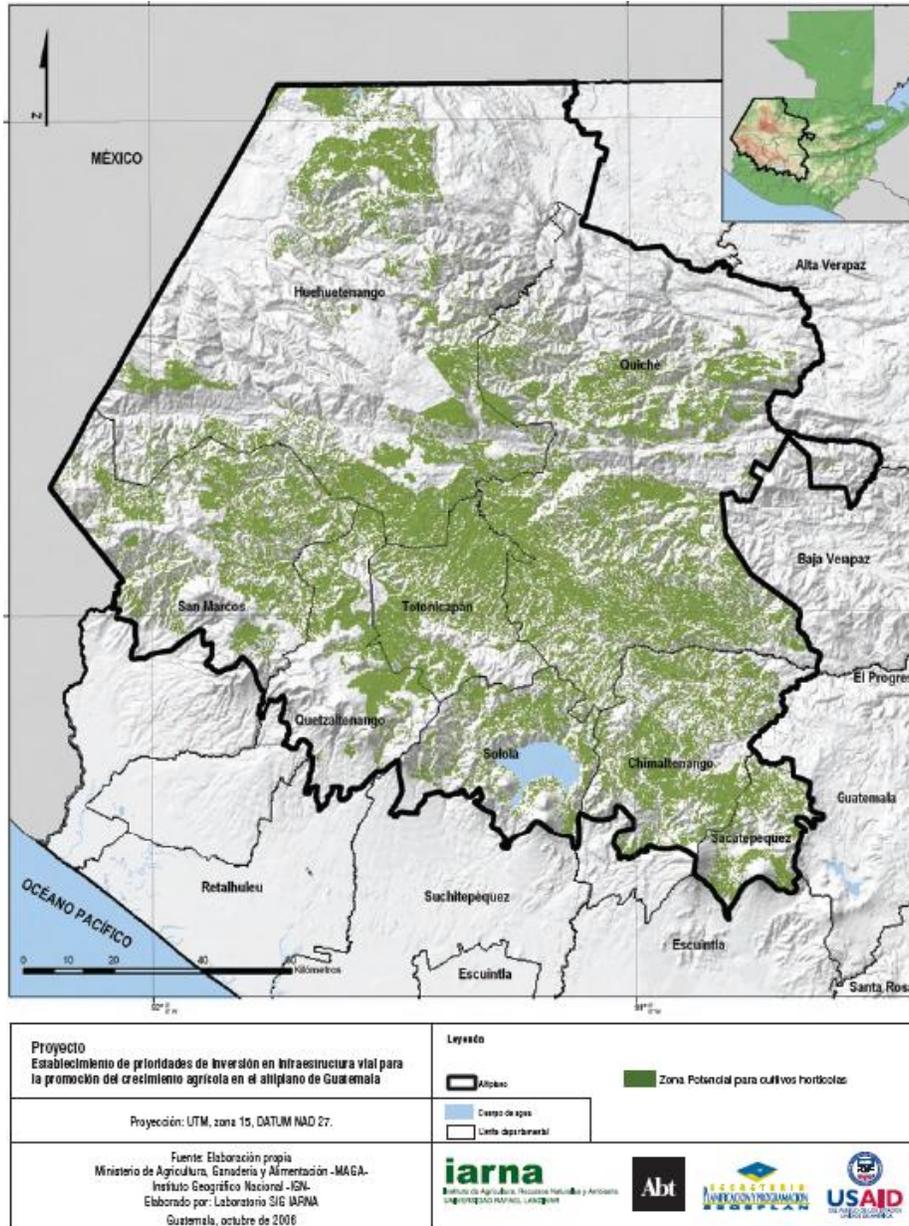
- Las zonas aptas para la producción de cultivos agrícolas, con valores positivos de ventaja comparativa revelada

Se busca que la inversión en infraestructura vial tenga como retorno, un incremento en la producción agrícola; por esto se requiere concentrar los esfuerzos en las zonas con condiciones favorables para la agricultura comercial (Figura 1).

- Las zonas en las que la producción agrícola proviene primordialmente de unidades productivas pequeñas

El crecimiento agrícola induce la generación de empleo, tanto en el sector agrícola como en el sector rural no agrícola, esperando un aumento del ingreso de los agricultores, lo que eleva la demanda local por bienes y servicios no agrícolas.

Figura 1. Áreas con potencial de producción hortícola en el altiplano de Guatemala



Fuente: Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala (IARNA-URL, 2008).

- Las zonas en las que el déficit de infraestructura vial constituye un factor limitante para las actividades económicas fue evaluado a nivel municipal, en relación del área con potencial agrícola determinado (Figura 1). Ello se hizo relacionando el área con potencial agrícola adyacente a carreteras asfaltadas y no asfaltadas, y el área total con potencial agrícola por municipio, por medio de la ecuación:

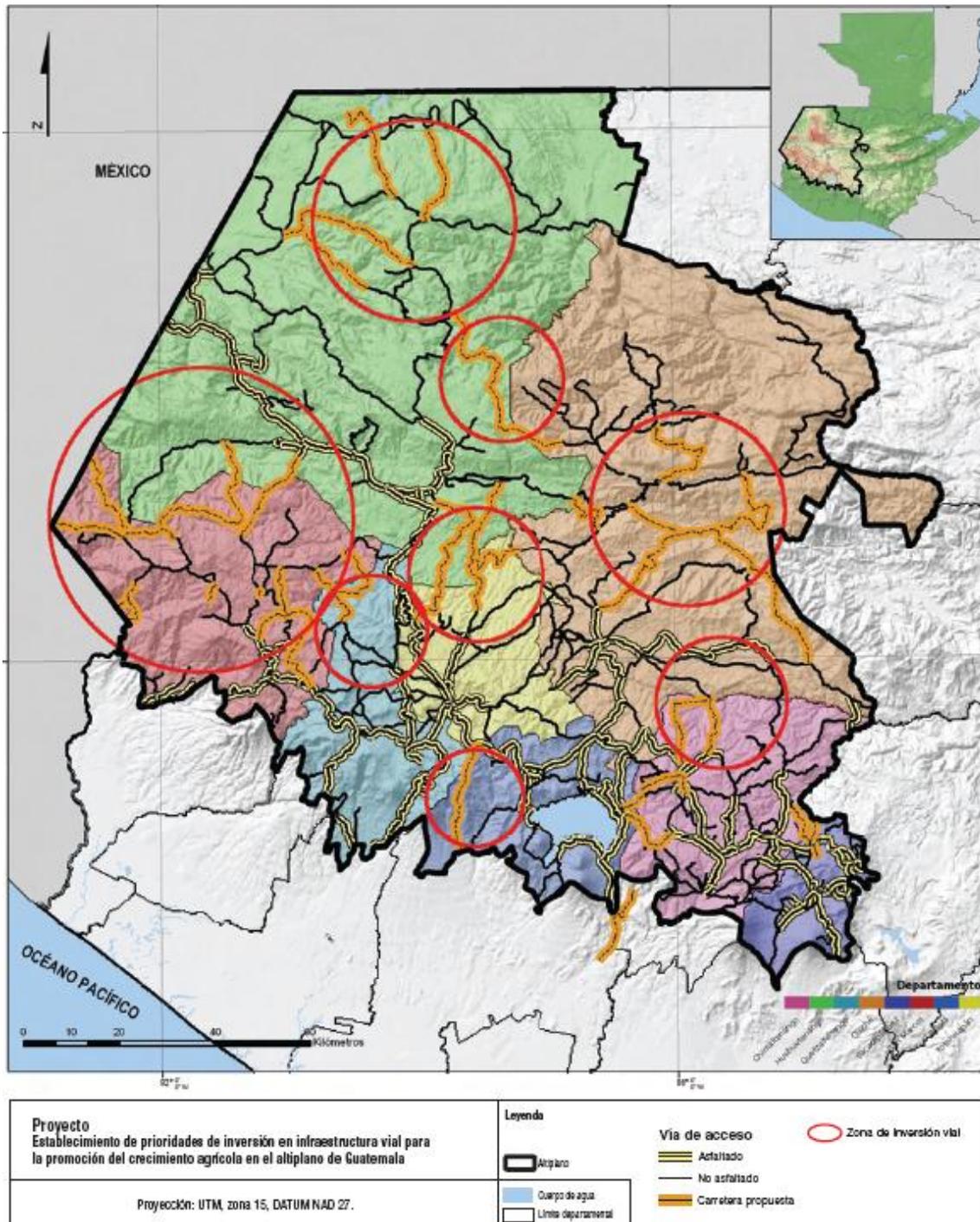
$$\text{Índice de vialidad enfocado al potencial agrícola} = \frac{\text{Superficie con potencial agrícola adyacente a carreteras}}{\text{Superficie con potencial agrícola total}}$$

- Las zonas en las que se han realizado inversiones productivas

El mejoramiento de las rutas de comunicación y transporte puede ser un factor decisivo en el retorno de inversiones productivas hechas en la región.

Como resultado del contraste entre los factores anteriores y la red vial del país, se identificaron las áreas propuestas para destinar inversión pública en infraestructura vial, las cuales fueron sometidas a un proceso de consultas realizadas con actores de la región involucrados en iniciativas de producción agrícola, identificando rutas cuya mejora debe de ser objeto de atención prioritaria en los planes de inversión pública. Las rutas priorizadas atraviesan 55 municipios de la región del altiplano y su atención, en conjunto, representa una inversión que supera los mil millones de quetzales. La Figura 2 muestra la ubicación geográfica de las áreas con potencial, así como los tramos viales prioritarios identificados.

Figura 2. Áreas y tramos propuestos para inversión en infraestructura vial en el altiplano de Guatemala



Fuente: Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala (IARNA-URL, 2008).

3.4. Marco normativo y regulatorio nacional vigente para la diseño, construcción y mantenimiento de los caminos rurales

3.4.1 Competencias institucionales

Existen varias instituciones gubernamentales que tienen competencias respecto a la gestión de la infraestructura vial en el país, aunque no todas de ellas se relacionan con los caminos rurales. Estas competencias pueden agruparse en los principales grupos de actividad asociados a la gestión de caminos rurales: Planificación, Ejecución y Supervisión, Mantenimiento, y de Gestión ambiental, las cuales se presentan a continuación:

a) Procesos de planificación de caminos rurales

La planificación de la infraestructura vial en el país se realiza en diferentes niveles: nacional, regional y local. Generalmente la gestión de los caminos rurales, por la función que estos desempeñan, se realiza a nivel local. En el Cuadro 5, se muestran las competencias y funciones principales de las entidades que participan en la planificación de la infraestructura vial, en el país.

Cuadro 5. Objetivos y funciones de las instituciones gubernamentales relacionadas con la planificación de los caminos rurales

Entidad	Competencias y funciones principales
Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda –CIV-	Es la entidad gubernamental responsable de atender la red vial del país, dentro de la que se incluyen los caminos rurales. Emite las disposiciones administrativas, legales y técnicas para orientar la gestión de los mismos. Le corresponde la formulación de las políticas y hacer cumplir el régimen aplicable al establecimiento, mantenimiento y desarrollo de los sistemas de comunicaciones y transporte del país y la obra pública, entre otras funciones específicas (30 del Decreto 114-97).
Dirección General de Caminos –DGC-	Es una entidad del CIV, que tiene el mandato de realizar la Planificación, Programación, Contratación, Supervisión, Mantenimiento y Mejoramiento de la Red Vial del País, que incluye todos los caminos, carreteras y puentes que integran el Sistema Vial de la República de Guatemala (DGC, 2012). Según el artículo 8 del Acuerdo Gubernativo 520-99, Reglamento Orgánico, como parte de sus objetivos y funciones, la DGC debe: <ul style="list-style-type: none"> a) Realizar, mantener, actualizar y ejecutar planes regionales de construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de carreteras y obras conexas de acuerdo a los programas correspondientes y políticas establecidas por el Ministerio del Ramo. d) Estudiar, analizar y evaluar las solicitudes de proyectos de construcción, rehabilitación y mejoramiento de caminos, puentes y obras conexas para considerar la posibilidad de su inclusión en programas de inversión vial. Como entidad gubernamental responsable de la gestión y administración de la red vial del país, la DGC estableció las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes (DGC-MICIVI, 2000), publicación que norma de forma general, las relaciones entre la DGC y los contratistas.

Entidad	Competencias y funciones principales
Instituto de Fomento Municipal –INFOM-	<p>Es una entidad estatal cuyo objetivo es apoyar a las municipalidades en la promoción de su desarrollo, brindándoles asistencia técnica y financiera en la realización de programas básicos de obras y servicios públicos, en la explotación racional de los bienes y empresas municipales, en la organización de la hacienda y administración municipal y en general, en el desarrollo de la economía de los municipios.</p> <p>El INFOM desarrolla, entre otras, las siguientes funciones (artículo 4 de la Ley Orgánica): Asistencia técnica en (i) Planificación y financiamiento de Obras y Servicios públicos municipales; entre otras. En este sentido, apoya a las municipalidades en la planificación local de las vías de acceso a diferentes áreas de su territorio.</p> <p>A partir de 1997, el INFOM inició acciones de planificación y construcción de caminos rurales, por medio de proyectos que se ejecutan en áreas geográficas específicas, como: a) Proyecto Piloto de Caminos Rurales Altiplano de San Marcos –PPCRSM- (Cobertura en San Marcos, ADIMAM); b) Segundo Programa de Caminos Rurales y Carreteras Principales (Cobertura en San Marcos – ADIMAM- y Huehuetenango – MAMSOHUE y Huistas-);y c) Programa de Mejoramiento de Carreteras en ZONAPAZ (Cobertura Alta Verapaz e Izabal –MAMPOLIZA).</p>
Fondo Social de Solidaridad –FSS-	<p>Se crea mediante el Acuerdo Gubernativo 71-2009 del 11 de marzo de 2009 con el objeto de ejecutar programas, proyectos y obras que son competencia del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda -CIV- para coadyuvar a fortalecer el desarrollo económico y social de la población y mejorar el nivel de vida de los guatemaltecos.</p> <p>A partir de su creación, se le transfirieron las funciones de la Secretaria de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia, como el Programa de Convoyes, y del Fondo de Inversión Social -FIS-, por lo cual posee vinculación con trabajos de infraestructura vial, en atención a demandas y gestiones que comunidades y gobiernos municipales plantean al Gobierno, para ser atendidas a través de los diferentes programas de Gobierno.</p>
Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica – SEGEPLAN-	<p>La SEGEPLAN es el órgano de planificación del Estado, establecida como una institución de apoyo a las atribuciones de la Presidencia de la República, correspondiéndole coadyuvar a la formulación de la política general de desarrollo del Gobierno y evaluar su ejecución y efectos.</p> <p>Tiene dos ámbitos de planificación y programación: el global - sectorial y el de su validación en las instancias de participación ciudadana en todo el territorio nacional, por medio del Sistema de Consejos de Desarrollo.</p> <p>La acción institucional se enfoca en la gestión integradora de la acción sectorial en los territorios, efectuada por intermedio de los distintos Ministerios, Secretarías y Fondos, con la inversión que se genera desde los Consejos de Desarrollo el Sistema de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural y las municipalidades.</p> <p>Es la entidad responsable de articular los Planes de Desarrollo Municipal con los Planes de Gobierno Local de cada municipio, como una estrategia para fortalecer a las municipalidades y a la vez mejorar la calidad del gasto público y la inversión al focalizar las intervenciones. Dentro de estas acciones, se involucra en la planificación local, en donde encaja en tema de</p>

Entidad	Competencias y funciones principales
	los caminos rurales.
Municipalidades y Mancomunidades	<p>Los municipios son la unidad básica de la organización territorial del Estado y espacio inmediato de participación ciudadana en los asuntos públicos; y las Mancomunidades son asociaciones de municipios que tienen la función de la formulación común de políticas públicas municipales, planes, programas y proyectos, la ejecución de obras y la prestación eficiente de servicios de sus competencias.</p> <p>En este sentido y considerando que los caminos rurales conectan principalmente las comunidades rurales con sus municipios, estas son las instancias de planificación regional y local que más relación poseen con los caminos rurales.</p>

Fuente: Elaboración propia.

La información anterior muestra que en Guatemala existen diferentes entidades gubernamentales que participan en la planificación de la infraestructura vial, aunque participan de forma limitada en la planificación de la construcción, reparación y mantenimiento de los caminos rurales. A pesar de tener la rectoría en los temas de caminos rurales, tanto el CIV como la DGC no están ejerciendo la coordinación interinstitucional que permita armonizar la gestión de proyectos de caminos rurales con todas las instituciones involucradas en el proceso (EIA Center, 2013).

En el 2007, la DGC publicó la Reformulación y Actualización del Plan de Desarrollo Vial 2008-2017, indicando que el mismo se enmarca en la Política Nacional relativa al movimiento de personas y mercancías de la República de Guatemala, dentro de su Plan Maestro Nacional de Transporte (CIV-DGC, 2007). *“El Plan de Desarrollo Vial se define como el estudio técnico que orientará en el periodo 2008-2017 (corto, mediano y largo plazo) las actividades del subsector del transporte por carretera en materia de gestión e inversiones (construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento) en la infraestructura vial existente, y en la implementación de programas de seguridad vial, todos ellos en un marco ambientalmente compatible, en el contexto socioeconómico de Guatemala”* (CIV-DGC, 2007).

Este plan, por su carácter de orientación, no se puede considerar como de adopción obligatoria, situación que limita la búsqueda de sinergias para atender efectivamente el tema de los caminos rurales en el país. Por esta razón, en los últimos años, se ha observado la participación de otras instituciones gubernamentales, municipalidades, mancomunidades y entidades de cooperación en la planificación de la infraestructura vial, incluyendo los caminos rurales.

Un aspecto importante de mencionar es que en el país no existe claridad sobre la competencia institucional respecto a la gestión de los caminos rurales. La DGC, dentro del POA 2012 propone *“determinar la competencia institucional de los caminos no registrados construidos por las municipalidades, consejos de desarrollo urbano y rural u otro ente”* (CIV-DGC, 2012).

A pesar de que se han elaborado directrices para la planificación, diseño, ejecución y supervisión de caminos, incluyendo los caminos rurales, estas no son de aplicación obligatoria al momento de ejecutar las obras.

El Recuadro I muestra un resumen sobre el diseño de caminos rurales en Guatemala.

Recuadro I. El diseño de caminos rurales en Guatemala

De acuerdo con información recabada en la Dirección General de Caminos y en la Unidad Coordinadora de Caminos Rurales del Instituto de Fomento Municipal, en Guatemala es altamente frecuente que los diversos actores institucionales, construyan caminos rurales sin utilizar los elementos mínimos de diseño que contribuirían a garantizar la calidad de los mismos, prolongar su vida útil, minimizar sus impactos en el ambiente y costos de mantenimiento, y en general, responder a las necesidades que les dieron origen.

Aun cuando en el medio nacional existen instrumentos normativos y directrices técnicas para el diseño y construcción de caminos rurales, los mismos no son de observancia general. Esto se debe principalmente a que las normas técnicas establecidas son de tipo general y no son de observancia obligatoria, por lo que queda a la discreción de las entidades que ejecutan proyectos de caminos rurales, establecer sus propias normas, algunas de las cuales, no cumplen con criterios técnicos mínimos.

Lo anterior representa una significativa condición de vulnerabilidad para la infraestructura de caminos rurales del país. El solo hecho de utilizar elementos mínimos de ingeniería en el diseño de caminos rurales, lograría reducir la vulnerabilidad de estos, principalmente ante amenazas significativas como las asociadas al cambio climático.

Esto resalta la necesidad de fortalecer la coordinación interinstitucional en este aspecto clave, que permita garantizar que las prácticas adecuadas de diseño sean aplicadas obligatoriamente en todos los proyectos que se emprendan. El fortalecimiento de esta coordinación es un reto actual que debe ser atendido desde las políticas de Gobierno, en sus distintos niveles.

Fuente: Elaboración propia.

b) Construcción y supervisión de los caminos rurales

En el país se tienen diversos esquemas de ejecución y supervisión de la obra pública, incluyendo los caminos rurales. En estos participan múltiples entidades, tanto gubernamentales como no gubernamentales, quienes ejecutan y/o supervisan, diversos proyectos a nivel nacional.

Las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes (DGC-MICIVI, 2000), establecen que cada actor *“debe asumir la responsabilidad que le corresponde: el que diseña es responsable del diseño; el que construye es responsable de que la construcción se ejecute de conformidad con el diseño aprobado por la Dirección General de Caminos; y todos los participantes deben tener como objetivo primordial encauzar sus esfuerzos y colaboración hacia la construcción de la obra en el tiempo estipulado y con la calidad con que fuera concebida y aprobada (DGC-MICIVI, 2000).”* En este sentido, este compendio de especificaciones intenta establecer que las fases de diseño, construcción y supervisión deberían ser encomendadas a entidades diferentes, lo que en numerosos casos, no se cumple, comprometiendo la transparencia y la calidad de las obras.

Con la finalidad de analizar el grado de involucramiento de las diversas entidades, en el Cuadro 6, se describe la participación de las mismas, en la ejecución y/o supervisión de proyectos de caminos rurales en el país.

Cuadro 6. Objetivos y funciones de las instituciones que ejecutan y/o supervisan proyectos de caminos rurales en el país

Entidad	Objetivos y funciones principales
Dirección General de Caminos –DGC-	Entre sus principales funciones, está el mantener las carreteras en óptimas condiciones de transitabilidad en toda época del año y proporcionar el mantenimiento adecuado a los puentes de la red vial del país que estén bajo su responsabilidad (artículo 8 del Acuerdo Gubernativo 520-99, Reglamento Orgánico). La DGC posee el Programa de mejoramiento de Caminos Rurales, el cual se enfoca principalmente al mantenimiento de los caminos registrados.
Instituto de Fomento Municipal –INFOM-	Desde 1997, el INFOM realiza acciones de planificación y construcción de caminos rurales en áreas específicas. Actualmente ejecuta un proyecto financiado por el Banco Mundial, el cual se centra principalmente en la Mancomunidad de Municipalidades del Sur Occidente del Huehuetenango -MAMSOHUE- y en la Mancomunidad Huista, aunque continúa su intervención en la mancomunidad ADIMAM del departamento de San Marcos. La mayoría de intervenciones que realiza esta institución en el área se catalogan como rehabilitación de caminos, consistente principalmente en el mejoramiento de la superficie de rodadura y los drenajes.
Fondo Social de Solidaridad –FSS-	Ejecuta algunos proyectos de construcción y mejoramiento de caminos rurales, enmarcadas en los diferentes programas de Gobierno, aunque muchos de estos se orientan al mejoramiento de caminos ya existentes.
Municipalidades y Mancomunidades	Por su alta relación con las comunidades rurales, muchas municipalidades responden a las demandas comunitarias involucrándose en la ejecución de proyectos de construcción y mejoramiento de caminos rurales. Para esto, muchas municipalidades han invertido en la adquisición de maquinaria con la que ejecutan estos proyectos, y otras, lo realizan por medio de contrataciones.

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior resalta el hecho de que existe una multiplicidad de actores sectoriales involucrados en la construcción de caminos rurales en Guatemala, y que existe una evidente falta de rectoría y coordinación de estos esfuerzos.

No se tiene conocimiento exacto de la magnitud de los esfuerzos para la construcción de nuevos caminos rurales en el país. Entre los indicadores del POA 2012 de la DGC, se tiene el Incremento de la red vial de Caminos Rurales, con una meta para el periodo 2012-2013 de 42.62 Km, lo que corresponde únicamente al 1% del total de caminos rurales registrados en esta dirección. Este indicador muestra el bajo nivel de inversión que se realiza en caminos rurales, principalmente cuando estas metas se contrastan con los demás objetivos del POA: *“Incrementar un 4.50% la construcción y ampliación de la red vial pavimentada durante el año 2012; incrementar un 2.25% las carreteras rehabilitadas durante el año 2012 e; incrementar en un 4.75% las carreteras pavimentadas de la red vial durante el año 2012”*.

c) *Mantenimiento de los caminos rurales*

La competencia de las instituciones con respecto al mantenimiento de los caminos rurales no se encuentra claramente establecida y actualmente está influenciada por las circunstancias que originaron la construcción de los mismos y los actores que los construyeron. La DGC únicamente realiza tareas de mantenimiento en aquellos tramos que tiene “registrados”. Sin embargo, esta porción “registrada” apenas alcanza el 46% de los caminos rurales existentes en el país (CIV-DGC, 2012), lo que hace que la responsabilidad sobre el mantenimiento de la gran mayoría de tramos de caminos rurales en el país, quede indefinida.

Las instituciones que participan en el mantenimiento de los caminos rurales se describen en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Objetivos y funciones de las instituciones que brindan mantenimiento a los caminos rurales en el país

Entidad	Objetivos y funciones principales
Dirección General de Caminos –DGC-	<p>Para mantener la transitabilidad y el buen estado de los caminos rurales, la DGC proporciona el mantenimiento adecuado, únicamente a los caminos registrados dentro de esa dependencia.</p> <p>Esta actividad la puede realizar de diversas formas: por medio de las Zonas Viales empleando los Convoyes Nacionales, por el Programa de Mantenimiento por Administración a través de las 14 Zonas Viales.</p> <p>Entre los objetivos operativos de la DGC en 2012, se tiene el de proporcionar mantenimiento a 1,200 kilómetros de caminos rurales por parte de las 14 zonas viales en las diferentes regiones del país.</p>
Instituto de Fomento Municipal –INFOM-	<p>La mayor cantidad de intervenciones se catalogan como rehabilitación de caminos. La propuesta que realiza el INFOM referente al mantenimiento de los caminos que se han rehabilitado, es que el mantenimiento rutinario pueda realizarse de forma manual, con participación local, a sea por parte de las comunidades o de las municipalidades. Con esta finalidad estableció el Proyecto Piloto de Mantenimiento Vial, el cual genero varias manuales, entre estos el Manual de Mantenimiento Rutinario.</p>
Fondo Social de Solidaridad –FSS-	<p>Ejecuta algunos proyectos de mantenimiento de caminos rurales, acción que realiza por medio de la Unidad de Convoyes Regionales. Esta unidad asiste al CIV, en brindar mantenimiento a los caminos rurales y coordinar los medios para el cumplimiento de dichas funciones. Además, debe constituirse en el enlace con las municipalidades para apoyar el funcionamiento de la red vial en las áreas rurales.</p>
Municipalidades y Mancomunidades	<p>La mayor parte de las municipalidades del país, así como de varias mancomunidades existentes, participan directamente en el mantenimiento de los caminos rurales, acciones que realizan por ejecución directa o por contratación de servicios. Algunas municipalidades del país, han invertido en la adquisición de maquinaria vial, para mantener sus proyectos de mantenimiento de los caminos rurales de su jurisdicción.</p>

Fuente: Elaboración propia.

La situación que se da entre los caminos rurales *registrados* y *no registrados*, es la que tiene mayores implicaciones respecto al mantenimiento de estos. Fundamentalmente porque la DGC, únicamente le da mantenimiento a los caminos rurales registrados, por lo tanto, los caminos rurales no registrados, no se

cuenta con la certeza de que tendrán un mantenimiento adecuado y constante. Se estima que de la totalidad de caminos rurales, solo un tercio recibe mantenimiento y probablemente menos del 5% a través de un programa rutinario de mantenimiento (CIEN, 2011).

El documento de Reformulación y Actualización del Plan de Desarrollo Vial 2008-2017 (CIV-DGC, 2007), indica que existe dispersión de las inversiones en infraestructura vial rural por diversas causas, entre estas: dificultades en cuanto a especificaciones técnicas; diversas instituciones y municipalidades ejecutan proyectos viales en el área rural, cada una con sus propias especificaciones; falta de registro único de las inversiones en infraestructura vial rural; y falta de programas de mantenimiento.

Las entidades vinculadas a la DGC, tanto COVIAL como las Zonas Viales, así como las municipalidades, atienden el mantenimiento de los caminos rurales, *pero en forma muy limitada*, y en consecuencia las obras se deterioran en tiempo relativamente corto (CIV-DGC, 2007).

d) *Gestión ambiental de los caminos rurales*

Esta función es responsabilidad principalmente del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales - MARN-, que es la entidad oficial especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público. Dentro de sus competencias, al MARN le corresponde dictar las políticas y estrategias, así como conocer los estudios de impacto ambiental de obras de infraestructura, de acuerdo con el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental, Acuerdo gubernativo 23-2003. Debe asegurar el cumplimiento de las normas relacionadas con el resguardo del ambiente y la toma de medidas para mitigar o evitar los impactos negativos en ese ámbito.

Respecto a caminos rurales e infraestructura vial, desde el año de 1996 se le dio la potestad y competencia a la Dirección General de Caminos a través del Departamento de Gestión Ambiental para que sea éste quien desarrolle los Estudios de Impacto Ambiental cumpliendo con los criterios establecidos en el Reglamento creado por la DGC. Como Autoridad ambiental en el país, al MARN le corresponde la aprobación de los estudios relacionados con caminos rurales, aun cuando éstos sean formulados por el Departamento de Gestión Ambiental de la DGC.

Con esta finalidad, en el 2002 la DGC apoyó la creación del manual Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos Rurales en Guatemala, Caminos Ambientales Compatibles. Este manual constituye una guía que norma la ejecución de los caminos rurales en sus diferentes etapas, desde su planificación, diseño, construcción, hasta el mantenimiento y reparaciones, tomando en cuenta factores ambientales y el impacto positivo o negativo que pueden causar ya que aun siendo de longitudes cortas, muchos dan acceso a lugares de riqueza natural, tanto de flora como de fauna y a riquezas de patrimonio cultural. Adicionalmente, busca estandarizar las especificaciones para que cuando se realice el trámite ante la DGC para que el tramo pueda pasar a formar parte oficialmente de la red vial nacional cumpla con los requisitos que debe de cumplir (EIA Center, 2013).

3.4.2 *Normas nacionales e internacionales relacionadas con los caminos rurales*

Existe un sinnúmero de normas técnicas para el diseño, construcción y mantenimiento de caminos rurales, tanto en el país, como a nivel internacional. La primera experiencia en que se generaron normas con esta finalidad fue en 1975, cuando la DGC del Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, en coordinación con la Cámara Guatemalteca de la Construcción publicaron la primera edición del Manual Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, “Libro Azul”. Esta publicación tenía como finalidad, que en Guatemala existiera un manual de especificaciones que responda a la

realidad nacional, basado en las normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y enriquecido con la experiencia profesionales guatemaltecos.

Derivado de cambios introducidos en la legislación, así como de algunos aspectos tecnológicos, en el 2000 se publicó el documento *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Puentes* (DGC-MICIVI, 2000), el cual establece, en forma general, como se manejan las relaciones entre la Dirección General de Caminos y los Contratistas, para la ejecución de todas sus obras.

Estas normas, al ser de tipo general, sugieren que su aplicación no debe hacerse indistintamente para una carretera principal, que para un camino de penetración, es decir, para cada proyecto deben diseñarse las Disposiciones Especiales que para éste prevalecerán, describiendo además las características especiales de la obra. En este sentido, se considera que el compendio de Especificaciones Generales, no contiene criterios técnicos detallados para los distintos tipos de obras viales (carreteras principales, caminos de penetración, etc.). Por lo anterior, en este mismo documento se recomienda la formulación del Manual de Construcción, documento que serviría para establecer los criterios específicos y los razonamientos para su aplicación (DGC-MICIVI, 2000).

Con lo anterior se puede concluir que las normas que existen en el país, se orientan principalmente para los procesos administrativos para la cotización y licitación de la construcción y mantenimiento de caminos y de la infraestructura relacionada con estos.

Entre otros trabajos desarrollados a nivel nacional, se encuentra el efectuado por el consorcio Consultores en Proyectos de Desarrollo Ecológico Sostenible, S. A. (ECODESA) – Asesoría Manuel Basterrechea Asociados, S. A., quienes presentaron al Departamento de Planificación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas, la propuesta del “Manual de Buenas Prácticas para Proyectos de Carreteras dentro de los límites de las Áreas Protegidas”, como parte de la consultoría “Elaboración de herramientas y metodologías prácticas para el manejo de la cartera de Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental -EIA-”. Este documento aborda y propone directrices para fortalecer el proceso de análisis de los estudios de Evaluación de Impacto Ambiental en el CONAP, que brinde herramientas y procedimientos que les permita agilizar y maximizar las acciones que desarrolla el personal técnico, pero aborda muy superficialmente los criterios de diseño de caminos rurales.

A nivel internacional, principalmente en la región centroamericana, se ha generado una serie amplia de manuales que incluyen especificaciones para el diseño, construcción, mantenimiento y seguridad vial de carreteras y puentes regionales. Debido a que estos documentos principalmente generan recomendaciones, administrativas y técnicas, algunas orientadas a la licitación y contratación de obras, estas no abarcan recomendaciones específicas para los caminos rurales, por lo que puede indicarse que a nivel regional, no existen normativas especiales para este tema.

Debido a múltiples causas, principalmente por los avances tecnológicos, la DGC por medio del Acuerdo Ministerial 1686-2007, reconoce y adopta como normas técnicas mínimas y obligatorias las ya elaboradas, y reconocidas por las dependencias del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, para su aplicación a todas las obras públicas del Estado. Dentro de los Manuales que cobran vida con este Acuerdo se encuentran (EIA Center, 2013):

- Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes (Edición 2001) aprobadas por el CIV, con excepción de la división cien (100), -Libro Azul-.
- Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos Rurales en Guatemala, Caminos Ambientales Compatibles, 2002.

- Reglamento sobre Derecho de Vía de los Caminos Públicos y su relación con los predios que Atraviesan.
- Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2da. edición, SIECA.
- Instructivo de Dispositivos Temporales para seguridad en Carreteras, Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, 2001.
- Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales. SIECA, 2001.
- Normas Estructurales de Diseño Recomendadas para la República de Guatemala, AGIES NR-1:2000-AGIES NR-9:200.
- Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, Anexo del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Uniforme, SIECA, 2000.
- Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, Anexo del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Uniforme, Catalogo de señales verticales, SIECA, 2000.
- Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, Anexo del Acuerdo Centroamericano sobre Señales Uniforme, Tomo II Anexo C y D, SIECA, 2000.
- Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras, Tomo III, Normas y Procedimientos de Ejecución para Mantenimiento Vial, SIECA, 2000.
- Manual Centroamericano de Normas ambientales para el diseño, construcción y mantenimiento de Carreteras, SIECA, USAID, 2002.

Dentro del mismo acuerdo la DGC ha definido las especificaciones geométricas para 6 tipos de carreteras basados en el TPD (Promedio de Trafico Diario) cada una con sus especificaciones, además de una guía para informe mensual de avance.

En 2010 SIECA publicó El “Manual Centroamericano de Carreteras con enfoque de gestión de riesgos y seguridad vial”, que cuenta con el apoyo del Proyecto Diseño y Aplicación de Políticas Comunes Centroamericanas – ADAPCCA-. Este es utilizado también por la DGC y COVIAL como fuente de referencia.

IV. VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DE CAMINOS RURALES, A LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

4.1. Generalidades sobre el cambio climático

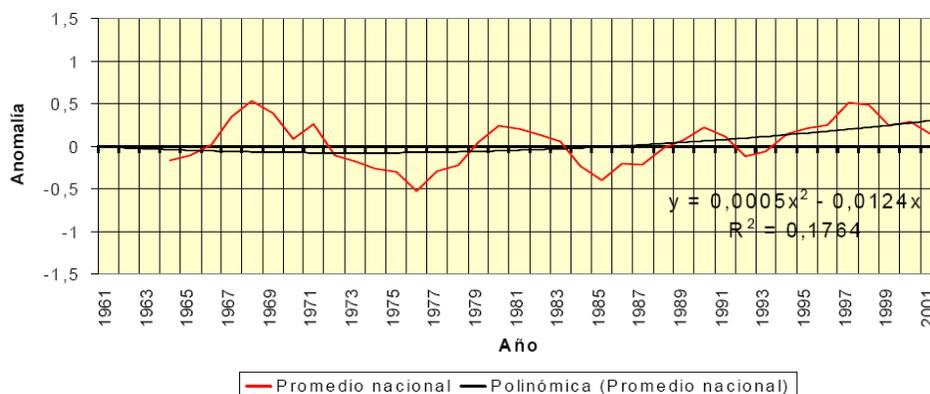
El cambio climático representa una seria amenaza para las sociedades, por los múltiples impactos negativos que se prevén hacia las poblaciones, sus medios de vida y en los sectores productivos (CEPAL, CCAD, DFID, 2010). Incrementos de la temperatura atmosférica y del mar, la reducción y la inestabilidad del régimen de lluvias y el aumento del nivel del mar, aunado a la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías y los huracanes, impactarán en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población, además de que debilitarán la capacidad del ambiente para proveer recursos y servicios vitales.

Existen muchas causas por las cuales, la infraestructura vial y principalmente los caminos rurales, presentan vulnerabilidad al cambio y la variabilidad climática. Los registros históricos que se tienen en el país, así como a nivel regional, evidencian que de manera recurrente y con cierta periodicidad, aunque inexacta, es afectada por anomalías climáticas (Jiménez, 2000, citado por IARNA-URL e IIA, 2003). Algunos estudios sugieren que estas anomalías, pueden estar relacionadas con señales o fuentes de variabilidad climática directa o transportadas por efecto de las diferentes conexiones del clima.

Para comprender las implicaciones del cambio climático, es importante conocer tanto el comportamiento de la temperatura como de la precipitación (MARN, 2001). De estos dos elementos, la precipitación y especialmente los patrones de la misma, son más útiles para entender los efectos sobre los caminos rurales. El comportamiento histórico de la precipitación muestra la tendencia a anomalías negativas de lluvias, que se hace más evidente a partir de los años 70s (IARNA-URL e IIA, 2003).

A través del análisis de la Variabilidad Climática en Guatemala se identificaron oscilaciones cuasidecadales en el comportamiento de las anomalías de lluvia reguladas por fuentes de variabilidad climática de corto y largo período de los Océanos Pacífico y Atlántico. Igualmente fue posible discernir la posible existencia de períodos prolongados en que las anomalías fueron mayores, antes de 1977 y a partir de 1987, respecto a un período transitorio de menor anomalía de precipitaciones, de 1977 a 1987 (MARN, 2001). Estos comportamientos pueden ser apreciados en la Figura 3.

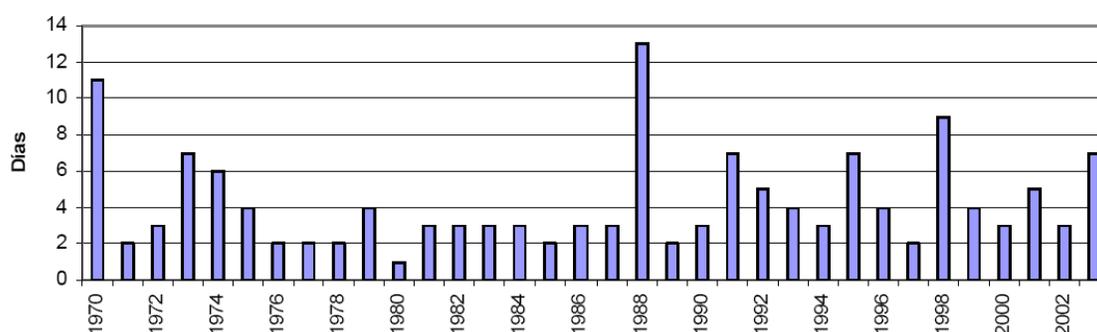
Figura 3. Curva de mejor ajuste de las tendencias observadas en la precipitación



Fuente: Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala (IARNA-URL e IIA, 2003).

Pero no solo los valores absolutos o el total anual de la precipitación anual son elementos para evaluar los cambios. Las evaluaciones de la frecuencia de lluvias fuertes a través de la cantidad de días con lluvia superior a los 40 mm por día en el período 1970-2003, muestran una tendencia al incremento del número de días por año. Esta información permite hacer una evaluación aproximada de algunos cambios en los patrones de lluvia, ya que se visualiza que los eventos extremos de precipitación parecieran ser más frecuentes en los últimos años, situación que obliga a revisar las pautas sobre el manejo del drenaje en los caminos rurales (Ver Figura 4).

Figura 4. Días al año con lluvia mayor a 40 mm, ciudad de Guatemala, período 1970-2003



Fuente: Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (MARN, 2001).

4.2. Aspectos climáticos que afectan los caminos rurales

Generalmente las redes viales (carreteras, puentes y alcantarillas) de los países en desarrollo son muy vulnerables a los impactos del cambio climático, con consecuencias que van mucho más allá de los daños físicos a las redes de caminos, pudiendo inclusive llegar a afectar las economías nacionales (Godinez, 2010).

Las medidas de protección contra el clima y su variabilidad, incluyendo los eventos hidrometeorológicos extremos, son fundamentales para evitar los peligros, daños y accidentes a la sociedad y sus medios de vida. La adaptación consiste en reducir vulnerabilidades e implica lidiar con los efectos tanto a corto como a largo plazo, además de las emergencias causadas por situaciones extremas de cambio climático. La incorporación de consideraciones de cambio climático al diseño de caminos puede parecer costosa como una fase inicial, pero a corto y largo plazo, permite generar ahorros importantes. Esto se logra ya que los caminos habrán sido diseñados desde el comienzo para resistir los impactos de los cambios climáticos, reduciendo los posteriores costos de mantenimiento de caminos.

Cuando ocurren eventos extremos, los impactos económicos debidos sobre todo a lluvias torrenciales son frecuentemente altos, principalmente por la falta de accesibilidad a causa de los daños a caminos, alcantarillas y puentes, lo cual incrementa la problemática del desastre. Por estas razones, se debe invertir en lograr la adaptación de las redes viales a los cambios de clima que se prevén. Esto incluye considerar aspectos en la planeación y diseño de la infraestructura vial, así como durante su construcción y mantenimiento.

Tres de los más importantes aspectos que se deben considerar en el diseño de caminos son: **drenaje, drenaje y drenaje!** (Keller & Sherar, 2008). Esta aseveración se hace debido a que son los eventos relacionados con las lluvias, sean estos eventos extremos o dentro de la normalidad climática, y que

podrán ser exacerbados con el cambio climático, lo cual incrementara la vulnerabilidad de los caminos rurales a esta condición.

Las crecidas causadas por la subida del nivel de los cuerpos de agua y por el cambio de intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos (por ejemplo, tempestades, o huracanes) amenazan las redes de transporte. El aumento de las crecidas ocasionaría un mayor número de retrasos en viajes y transporte de mercancías, lo cual se traduciría en una pérdida de jornadas laborales y de ventas, y en una menor productividad (Suarez et al., 2005, citado por IPCC, 2012).

Una primera cuestión a tener en cuenta es que se ha optado por establecer una tipología de hogares a objeto de considerar la heterogeneidad de la población que nos interesa caracterizar, de forma

4.3. Vulnerabilidad de los caminos rurales

4.3.1 Conceptos introductorios

a) ¿Qué es la vulnerabilidad?

Por muchos años, el concepto de vulnerabilidad ha sido erróneamente considerado como sinónimo de riesgo. El uso del componente de vulnerabilidad en la temática de riesgo es relativamente reciente. El término fue originalmente introducido en la década de los 70s, pero su utilización más amplia ocurrió efectivamente a partir de los 80s (Wisner, 1993; Leon, 2006). Según Blaikie et al (2004), aunque algunas teorías, entre ellas las de corte ambiental o del determinismo ambiental, formulaban explicaciones acerca de la ocurrencia de desastres desde la perspectiva de la vulnerabilidad, ninguna relacionaba el hecho de cómo las sociedades crean las condiciones para que la población enfrente los desastres de manera diferenciada. Por esta razón, la literatura especializada coincide en indicar que la *vulnerabilidad* se refiere a una condición, a partir de la cual, una población está o queda expuesta frente a una amenaza. Está asociada a la idea de exposición y susceptibilidad (IMNCR 2005; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, s.f.). Desde un punto de vista más dinámico, se refiere a la capacidad social para asumir situaciones límites (como un desastre) y sobreponerse a ellas (resiliencia).

Originalmente, el término vulnerabilidad fue desarrollado en el campo de la ingeniería estructural para mostrar como las características constructivas podían hacer que las obras de infraestructura fueran más propensas a sufrir daños ante eventos desastrosos. En las últimas décadas, ese concepto tomó un carácter multidisciplinario, al contemplar tanto los aspectos físicos como los humanos y sociales (CEPREDENAC-PNUD, 2003). A finales de la década de los 80s, Wilches-Chaux elaboró una extensa caracterización de los tipos y niveles de vulnerabilidad natural, física, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural y educacional. El mismo autor utiliza el término “vulnerabilidad global” para definir el sistema dinámico que surge en consecuencia de las interacciones entre una serie de factores y características (internas y externas) que convergen para que un sistema, sea incapaz de responder adecuadamente a un determinado riesgo y los consecuentes desastres asociados al mismo.

Desde la perspectiva del cambio climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001), define la vulnerabilidad como “*el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de enfrentarse a efectos adversos de este fenómeno, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos*”.

Según el IPCC (2011), citado por IARNA-URL, 2012), la vulnerabilidad tiene tres componentes:

- *Exposición*, que se refiere a la presencia de un riesgo climático, es decir, a los aspectos físicos de la vulnerabilidad.

- *Sensibilidad*, se refiere al grado en que un sistema responderá a determinado cambio del clima, incluidos los efectos beneficiosos y perjudiciales.
- *Capacidad adaptativa*, se refiere a la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, incluida la variabilidad climática y los cambios extremos, para aminorar daños potenciales, aprovechar las oportunidades, o enfrentar sus consecuencias.

A partir de esta evolución conceptual, desde 2001 la Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres de Naciones Unidas (EIRD/ONU) comenzó a impulsar el concepto de gestión integrada de riesgos, basado en la idea de que el riesgo está compuesto por la presencia de amenazas, combinado con la existencia de condiciones de vulnerabilidad. Dentro de este contexto, la reducción efectiva del riesgo se basa fundamentalmente en promover acciones enfocadas en la disminución de las condiciones de vulnerabilidad.

b) ¿Por qué darle énfasis a reducir la vulnerabilidad?

Aunque el mundo siempre ha estado expuesto a los desastres naturales, sus efectos se están volviendo cada vez más severos. Esta tendencia mundial está directamente vinculada a fenómenos, como la creciente pobreza, el crecimiento demográfico, el deterioro ambiental y el cambio climático. Puesto que la vulnerabilidad a los desastres es el resultado de las acciones humanas, es posible modificarlas para reducir la vulnerabilidad y, con ella, el riesgo de pérdidas humanas y materiales.

c) ¿Qué es la reducción de los desastres?

La reducción de los desastres es el conjunto de acciones que pueden aplicarse para reducir la vulnerabilidad de una sociedad ante las amenazas naturales. Estas soluciones incluyen el correcto ordenamiento territorial, para asegurar que la gente se asiente donde es seguro. La adopción de códigos de construcción apropiados y técnicas de ingeniería que respondan a condiciones locales de riesgo, así como mecanismos para asegurar su aplicación rigurosa. La información confiable y el compromiso político son fundamentales para el éxito de la reducción del riesgo. Este concepto trasciende más allá de las actividades tradicionales de respuesta y defensa contra el impacto de los fenómenos naturales. La reducción de los desastres es por definición intersectorial y multidisciplinaria, y comprende una amplia gama de actividades entrelazadas en el plano local, nacional, regional y mundial.

4.3.2 *Evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura nacional de caminos rurales ante las amenazas hidrometeorológicas asociadas al cambio climático y la variabilidad climática*

Con el propósito de evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura nacional de caminos rurales ante las amenazas asociadas al cambio y variabilidad climática, se desarrolló una revisión de literatura para analizar distintas opciones metodológicas. Entre las metodologías revisadas se encuentran las siguientes:

- **Evaluación de vulnerabilidad física de infraestructura vial**, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Esta metodología estima niveles de vulnerabilidad física de infraestructura vial, con base en la cuantificación, a nivel municipal, de las longitudes de caminos expuestas a las principales amenazas hidroclicmáticas (deslizamientos de tierra e inundaciones). Se emplearon datos geográficos sobre la red vial existente, así como mapas de zonificación de las amenazas mencionadas. Estos datos son sobrepuestos cartográficamente, utilizando un sistema de información geográfica. Los niveles de vulnerabilidad son asignados de acuerdo con la proporción de caminos rurales expuestos a las amenazas, como fracción de la longitud total de caminos rurales, nivel municipal. Esta metodología

fue desarrollada y utilizada en Honduras y El Salvador como parte de los esfuerzos de reconstrucción de los daños ocasionados por el Huracán Mitch, en 1998, y se basa exclusivamente en la evaluación de parámetros físicos, relacionados con los niveles de exposición de la infraestructura a las amenazas de inundación y deslizamiento de tierra; sin embargo, no toma en cuenta otros componentes relevantes de la vulnerabilidad como la capacidad adaptativa o de respuesta, o las condiciones socioeconómicas de los territorios en donde se encuentran.

- Vulnerabilidad a los peligros naturales de la carretera panamericana y sus corredores complementarios, Dirección General de Caminos-INSIVUMEH-IGN, Guatemala.

Esta metodología evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura vial en función de los componentes: *físico*: grado de exposición de la infraestructura a las amenazas de inundación, deslizamiento y evento sísmico mediante la compilación de antecedentes históricos de eventos asociados a dichas amenazas; *social*: a través de la densidad de la población, asumiendo que las zonas más densamente pobladas presentan una mayor vulnerabilidad ante eventos naturales; *económico*: mediante la productividad agrícola de granos básicos, como indicador de la capacidad económica de los territorios en los que se encuentran las infraestructuras, y *capacidad de respuesta*: utilizando el ingreso municipal por habitante, como indicador de la capacidad administrativa para atender las posibles consecuencias de eventuales desastres. El análisis realizado concluyó que aun cuando esta metodología evalúa la vulnerabilidad considerando sus componentes relevantes, algunas de las variables utilizadas como indicadores de vulnerabilidad, presentan limitaciones en cuanto a representar adecuadamente las condiciones de vulnerabilidad.

Con base en la revisión metodológica descrita, se decidió efectuar una adaptación de las metodologías evaluadas, integrándolas en un esquema de evaluación que toma en cuenta los componentes de vulnerabilidad propuestos por el IPCC (2011), así como algunos de los propuestos por Wilchez-Chaux y sugeridos por (CEPREDENAC-PNUD, 2003) para la realización de evaluaciones de vulnerabilidad. El Cuadro 8 detalla los componentes de vulnerabilidad evaluados, los indicadores seleccionados para caracterizar los componentes y los datos de soporte utilizados en el proceso.

Cuadro 8. Componentes e indicadores utilizados en la evaluación de vulnerabilidad de la infraestructura nacional de caminos rurales.

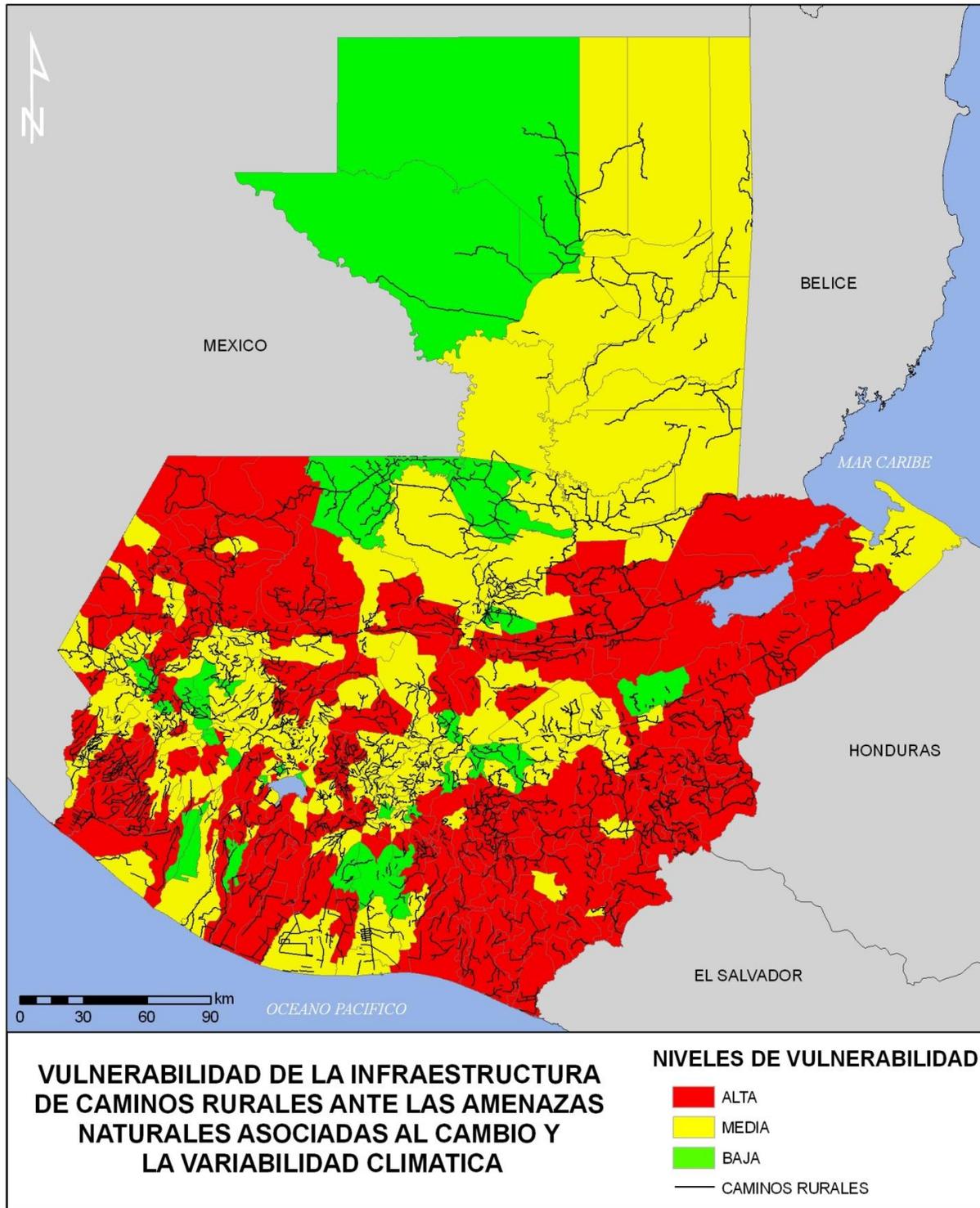
Componentes de vulnerabilidad		Indicadores de vulnerabilidad	Datos de soporte utilizados en el análisis
Ante amenazas asociadas al cambio climático (IPCC)	Ante amenazas naturales (según Wilchez-Chaux)		
Exposición	Físico	Porcentaje de la longitud de caminos rurales expuestos a la amenaza de deslizamientos de tierra, a nivel municipal	Red nacional de caminos rurales (capa georreferenciada) Fuente: DGC. Zonificación de la amenaza de deslizamientos de tierra. (capa georreferenciada) Fuente: CONRED. División política municipal. (capa georreferenciada) Fuente: IGN.
		Porcentaje de la longitud de caminos rurales expuestos a la amenaza de inundación, a nivel municipal	Red nacional de caminos rurales (capa georreferenciada) Fuente: DGC. Zonificación de la amenaza de inundación. (capa georreferenciada) Fuente: CONRED.

Componentes de vulnerabilidad		Indicadores de vulnerabilidad	Datos de soporte utilizados en el análisis
Ante amenazas asociadas al cambio climático (IPCC)	Ante amenazas naturales (según Wilchez-Chaux)		
			División política municipal. (capa georreferenciada) Fuente: IGN.
Sensibilidad	Económico	Índice GINI de inequidad en la distribución del ingreso.	Base de datos de pobreza a nivel municipal. Fuente: SEGEPLAN 2006.
Sensibilidad	Social	Índice de Desarrollo Humano (IDH) por municipio.	Base de datos del IDH 2006 a nivel municipal. Fuente: PNUD.
Sensibilidad	Ambiental	Erosión potencial por municipio, como indicador de degradación y fragilidad ambiental	Erosión potencial (capa georreferenciada) Fuente: IARNA.
Capacidad adaptativa	Institucional	Índice de Gestión Municipal, como indicador de capacidad de respuesta para enfrentar las amenazas asociadas al C. Climático	Índice de Gestión Municipal. Fuente: SEGEPLAN/GIZ-PROMUDEL.

Fuente: Elaboración propia.

Por su naturaleza territorial, cada indicador descrito anteriormente, fue incorporado a un sistema de información geográfica, para hacer posible su posterior combinación espacial. Para cada indicador se definieron rangos asociados a los niveles alto (3), medio (2) y bajo (1) de vulnerabilidad, de acuerdo con las categorizaciones de cada fuente de datos, o en su defecto, utilizando criterio experto. Utilizando el sistema de información geográfica referido, se combinaron los indicadores en un indicador compuesto, utilizando la técnica de convolución espacial simple (con ponderaciones equitativas). El resultado, es un indicador compuesto de vulnerabilidad, el cual, a su vez, fue categorizado en rangos correspondientes a los niveles alto, medio y bajo de vulnerabilidad (Ver Figura 5).

Figura 5. Vulnerabilidad de la infraestructura de caminos rurales ante las amenazas asociadas al cambio y la variabilidad climática



Fuente: Elaboración propia, con datos de DGC, SEGEPLAN, IARNA, PNUD y CONRED.

4.3.3 *Discusión*

El proceso de evaluación de vulnerabilidad descrito, ha permitido identificar los siguientes aspectos:

- Los resultados obtenidos muestran que las regiones nor-oriente, sur-oriente, nor-occidental y sur-occidental, muestran los más altos niveles de vulnerabilidad de la infraestructura de caminos rurales. Estos datos permiten estimar que 10.205 km de caminos rurales se encuentran en condiciones de alta vulnerabilidad, lo que representa un 52% del total de 19,498 km de caminos rurales que la Dirección General de Caminos tiene cartografiados a la fecha.
- La significativa proporción de caminos rurales en condiciones de alta y media vulnerabilidad, remarca la necesidad de incorporar consideraciones de adaptación al cambio y la variabilidad climática en el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura de caminos rurales. Esta situación se ve aumentada al tomar en cuenta que según las proyecciones existentes, las áreas con presencia de amenazas hidroclimáticas tienden a extenderse por lo que las consideraciones de adaptación y las medidas de mitigación (reducción de la vulnerabilidad) se vuelven aún más importantes. Para remarcar lo anterior con datos específicos de Guatemala, según estimaciones de la CEPAL (2012), el porcentaje de las pérdidas económicas correspondientes al sector comunicaciones y transporte durante las tormentas tropicales Stan y Agatha en Guatemala, correspondieron al 47% y 33% del total de pérdidas, respectivamente.
- Es necesario mencionar que la DGC ha categorizado los caminos rurales en 2 categorías: caminos rurales registrados y no registrados. Los caminos rurales no registrados se caracterizan por no recibir ningún tipo de mantenimiento por las instancias del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (DCG y COVIAL), quedando la responsabilidad de realizar esta tarea a las municipalidades y otros actores locales. Esta situación constituye una significativa fuente de vulnerabilidad para los caminos rurales no registrados, ya que, al no recibir mantenimiento suficiente, tienden a ser más susceptibles a los efectos negativos de los eventos asociados a amenazas hidroclimáticas. Los caminos rurales no registrados que están cartografiados por la DGC suman aproximadamente 10,300 km.
- Consideramos que el significativo sub registro de caminos rurales en la cartografía de la DGC es un factor que afecta fuertemente la calidad de los resultados de la evaluación de vulnerabilidad realizada. Este sub registro es más evidente en las regiones de Petén y la Franja Transversal del norte, donde hay una cantidad muy baja de caminos rurales cartografiados. Lo anterior permite inferir que es altamente probable que la proporción de caminos rurales en condiciones de alta y media vulnerabilidad, sea mucho mayor a lo estimado en la presente evaluación, debido al sub registro existente.
- Consideramos que la metodología empleada para realizar la evaluación de vulnerabilidad, cubre los componentes más importantes que influyen en la vulnerabilidad de la infraestructura de caminos rurales. Así mismo, tomando en consideración las limitaciones de disponibilidad de datos en Guatemala, consideramos que los indicadores elegidos caracterizan adecuadamente los distintos componentes de la vulnerabilidad ante las amenazas asociadas al cambio y la variabilidad climática. Adicionalmente, consideramos que esta metodología es susceptible de ser replicada en el futuro, con el propósito de monitorear el desenvolvimiento de las condiciones de vulnerabilidad de esta infraestructura.

V. ORIENTACIONES PARA INCORPORAR CONSIDERACIONES DE ADAPTACIÓN A LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA GESTIÓN DE CAMINOS RURALES

5.1. Análisis ambiental

El análisis ambiental es un procedimiento que se desarrolla al inicio del ciclo de un proyecto, y tiene la finalidad de identificar y evaluar los potenciales impactos de una actividad en particular, con el objetivo de dar elementos para el ajuste de las actividades a fin de eliminar o reducir, dichos impactos.

La mayoría de los impactos negativos que pudieran ocurrir derivados de la construcción de un camino, pueden evitarse o minimizarse por medio de la aplicación prácticas ambientalmente coherentes en las fases de diseño, construcción y mantenimiento de los caminos. Algunos de los más comunes impactos ambientales negativos asociados con la construcción y mejoramiento de los caminos rurales son (USAID, 2013):

- **Erosión de suelos**

Ocurre generalmente por el diseño y/o construcción inadecuada de los caminos, que reducen la capacidad de drenaje de los mismos, haciéndolos susceptibles a la erosión por lluvias o en los cruces de ríos y riachuelos. Durante la construcción o mantenimiento de los mismos, se generan movimientos de tierras que, si son mal manejados, incrementan la pérdida de suelos de los terrenos vecinos a los caminos.

- **Degradación de la calidad del agua**

La calidad de las aguas se degrada como consecuencia de la erosión de los suelos y la sedimentación que se puede generar sobre los ríos, riachuelos, lagos y humedales. De forma indirecta, la apertura de nuevos caminos tiende a promover el desarrollo agrícola, lo cual tiene como consecuencia el incremento de la sedimentación, con los consecuentes impactos en la calidad de las aguas superficiales.

- **Efectos adversos en la cantidad de agua**

Muchas veces se requieren de altas cantidades de agua durante la fase de construcción y/o mantenimiento de los caminos. En ciertas regiones se tiene la práctica de esparcir agua para reducir las cantidades de polvo, principalmente en los caminos no pavimentados. Aunque estas demandas son de tipo temporal, en las regiones áridas y semiáridas densamente pobladas, estas demandas pueden afectar la disponibilidad de aguas en las comunidades.

- **Alteración de la hidrología y de las inundaciones**

Cuando se diseñan caminos en áreas con altos niveles freáticos o en zonas de humedales, sin considerar los flujos naturales de las aguas, se pueden producir alteraciones en la hidrología y flujos naturales de las aguas en la región. Con la finalidad de mantener las condiciones de tránsito adecuadas en todo el año, los caminos se elevan sobre el nivel normal de los terrenos, con lo cual, estos se convierten en barreras físicas al flujo natural de las aguas, con los consecuentes impactos que esto puede generar.

- **Deforestación**

Durante la apertura de nuevas brechas o en los procesos de ampliación y mantenimiento de los caminos, se requiere la eliminación de fajas de árboles, que en muchos casos es significativa. Aunque estos impactos pueden considerarse localizados, los nuevos caminos o el mejoramiento de los mismos, promueven el aumento de agricultura y el comercio de productos forestales. Ambas actividades tienen a producir deforestación y degradación de los bosques cercanos a estos caminos.

- **Daños a ecosistemas y hábitats de alto valor**

Las zonas de alto valor para la conservación, como las áreas protegidas o ecosistemas estratégicos, entre otros, pueden ser impactadas directa o indirectamente por la apertura de los caminos. Impactos como la erosión de los suelos, el corte de árboles o la alteración de los cursos de agua, afectan de forma directa a los ecosistemas y hábitats de importancia, y el incremento de actividades agrícolas productivas y la deforestación, son un efecto indirecto de la construcción de caminos.

- **Deterioro de la belleza escénica**

La construcción y mantenimiento de los caminos pueden deteriorar la calidad escénica de la región. Generalmente se promueve la eliminación de la vegetación natural a la orilla de los caminos no pavimentados, con la finalidad de aumentar la insolación y mantener una buena accesibilidad en las épocas y zonas de alta precipitación. Estas actividades, generalmente tienen a impactar en la belleza escénica de las regiones, impacto que es más significativo en las rutas y regiones turísticas.

- **Impactos negativos a la salud y seguridad humana**

Tanto en la fase de construcción como de operación y mantenimiento de los caminos se generan condiciones que pueden afectar la salud y seguridad humana. Generalmente se tiende a aumentar las cantidades de polvo y ruido como consecuencia del aumento del tráfico, situación que pone en mayor riesgo a las poblaciones de potenciales accidentes.

- **Cambios a la cultura local y las sociedades**

La mejora del acceso a las comunidades, generalmente impactan positivamente en los medios de vida locales. Se mejoran las condiciones de educación y salud, aumenta el comercio local y las comunidades incrementan su relación con otras regiones. Todo esto tiende a mediano plazo, a inducir cambios en los valores socio-culturales de las comunidades.

5.1.1 *Predicción, valoración y prevención de impactos negativos en el ambiente, población y medios de vida*

Es importante evaluar la *necesidad* de una carretera determinada, por medio de la evaluación de los *efectos* que la misma va a generar (USAID, 2013). Se debe determinar y cuantificar el objetivo principal de un camino, más allá de simples declaraciones de su importancia. Esto implica determinar la demanda actual y futura de los caminos, expresada en función de las cantidades de personas y productos que se estarán transportando. Para esto será necesario establecer el número, tonelaje aproximado y patrón estacional de transporte que tendrá el camino, principalmente a mediano y largo plazo.

Con esta información y siguiendo las técnicas de valoración, social y ambiental, se estimarán los costos y beneficios de las diferentes alternativas para la construcción de los caminos, lo que permitirá identificar la opción más factible y deseable desde el punto de vista económico y ambiental.

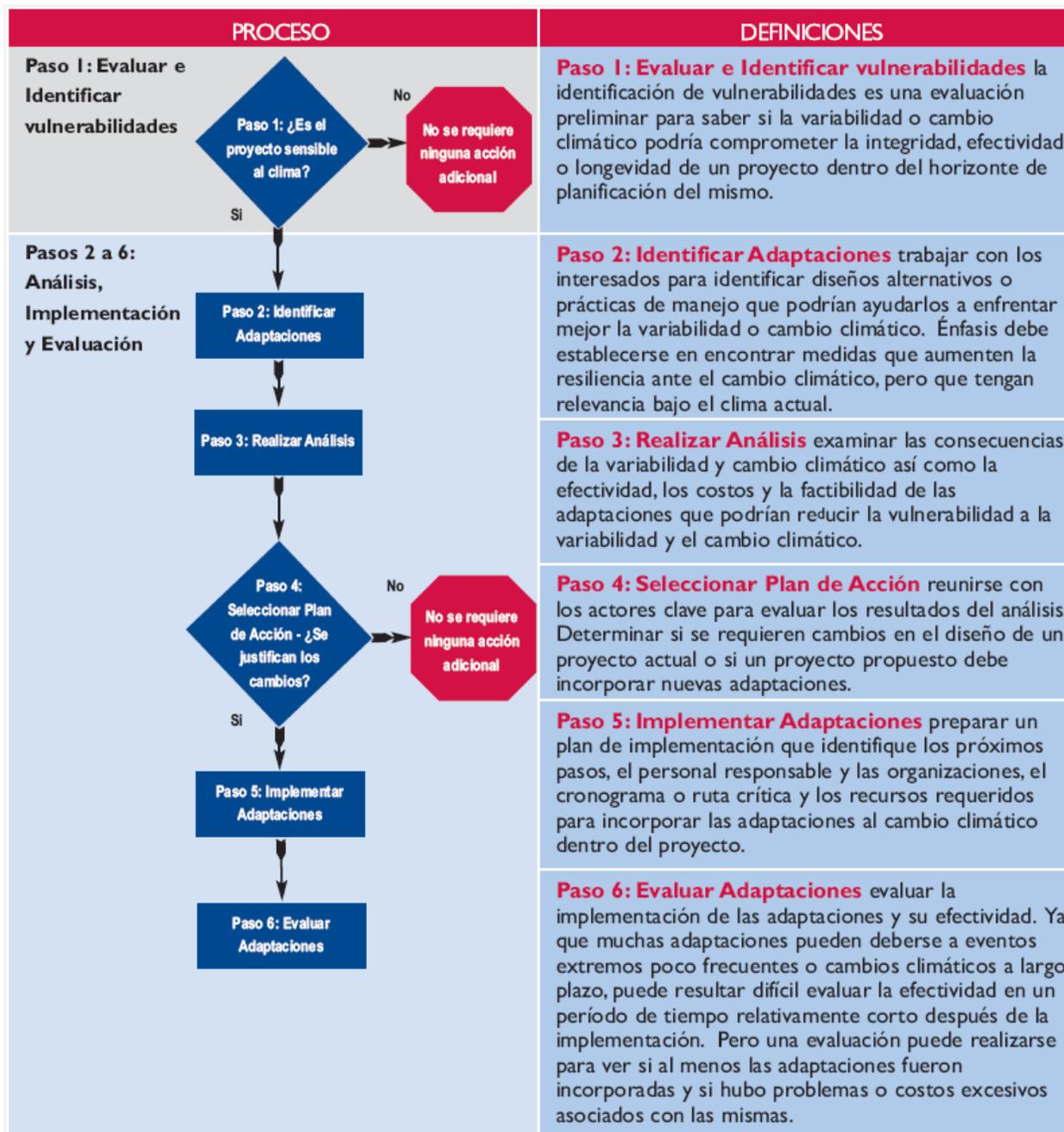
5.2. Evaluación local de la vulnerabilidad a través del enfoque V&A en el desarrollo de proyectos de caminos rurales

Las actividades de fomento al desarrollo, como la construcción de caminos rurales, deben pasar por un proceso de diseño al que generalmente se refiere como el “ciclo del proyecto”. El ciclo del proyecto incluye cuatro pasos básicos: el diagnóstico del problema, el diseño del proyecto, la implementación y la evaluación. Esta secuencia es vista como en ciclo debido a la naturaleza dinámica de las inversiones: la finalización y evaluación de un proyecto podrían proporcionar el impulso para otro proyecto que construya sobre los logros del proyecto anterior, o que aborde temas que estuvieron ausentes en el diseño anterior o que emergieron durante el curso de la implementación.

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) impulsa un sistema de seis pasos para evaluar la vulnerabilidad e identificar e implementar las adaptaciones al cambio climático -el enfoque de Vulnerabilidad y Adaptación (V&A)- sigue una trayectoria de desarrollo paralela al ciclo del proyecto. El enfoque V&A puede ser utilizado para un proyecto nuevo o ser incorporado a un proyecto existente.

En el Recuadro 2 se incluye un diagrama de flujo, diseñado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y que ilustra la lógica de implementación del enfoque V&A para la reducción de vulnerabilidades a través de la adaptación.

Recuadro 2. Lógica de implementación del enfoque V&A para la reducción de vulnerabilidades a través de la adaptación



Fuente: Adaptación a la variabilidad y el cambio climático. Un manual para la planificación del desarrollo. USAID, 2007

A continuación se describe el sistema de seis pasos para incorporar elementos de V&A en el diseño de los proyectos de caminos rurales.

5.2.1 Paso 1: Evaluar e identificar vulnerabilidades

El Paso 1 comprende el estudio del diseño de un proyecto existente o propuesto para determinar si el mismo podría verse afectado por la variabilidad o cambio climático. Aun cuando el factor climático es importante, los responsables del proyecto deben decidir si la inversión en pasos adicionales de V&A está dentro de sus intereses, capacidades o restricciones de recursos. A la hora de tomar esta decisión, es importante recordar que puede haber costos adicionales o posibles daños futuros al no modificar el proyecto, si el cambio climático reduce el desempeño del mismo.

Idealmente, el Paso 1 incluye una revisión extensa de datos climáticos actuales, tendencias climáticas recientes y escenarios climáticos, preferiblemente analizados en la misma escala geográfica que la del proyecto propuesto. Sin embargo, el tiempo y los recursos que en la fase de planificación se puedan dedicar a la evaluación del cambio climático con frecuencia son limitados. Como resultado, es probable que se tenga que utilizar información y opiniones de expertos fácilmente accesibles para evaluar cambios potenciales en los parámetros e impactos climáticos. Los registros históricos pueden servir como una aproximación para la proyección de cambios futuros – si algo ha ocurrido antes, puede ocurrir nuevamente. Por ejemplo, al pensar en la vulnerabilidad a las sequías, ¿cuál sería el impacto en los caminos rurales de la región si la peor tormenta de la que se tienen registros en términos históricos sucediera con mayor frecuencia en el futuro?

A la hora de determinar los impactos climáticos, hay dos reglas que resultan útiles:

Regla 1: Si un proyecto es sensible a la variabilidad climática, es probable que sea sensible al cambio climático. Cualquier proyecto que actualmente es sensible al clima, seguirá siendo sensible al clima en el futuro.

Regla 2: Los cambios climáticos a largo plazo pueden introducir otros riesgos en los proyectos.

El proceso de indagación para evaluar los impactos climáticos podría proceder de la siguiente forma:

1. Caracterizar la variabilidad climática actual, incluyendo eventos de corto plazo (eventos climáticos extremos) y eventos de largo plazo (tendencias en las variaciones estacionales y anuales) para una determinada área geográfica. Las fuentes pueden incluir registros climáticos históricos (de estar disponibles), aportes de los interesados, y proyecciones sobre cambios climáticos.
2. Determinar cuáles sectores o actividades son o pueden ser impactados por los distintos tipos de eventos de variabilidad climática de corto o largo plazo (ver Reglas 1 y 2). Sería útil describir la naturaleza del impacto y evaluar su magnitud, aunque sólo sea en términos relativos (por ejemplo, alto, mediano o bajo) o cualitativos.
3. Identificar malas adaptaciones (diseños de proyecto que crean o agravan un problema) que aumentan la exposición a amenazas relacionados con el clima.
4. Identificar estrategias y políticas de adaptación que ya existan o que estén propuestas.
5. Discutir los resultados de la investigación con los actores clave, para determinar si existen algunos vacíos en el análisis.
6. Estimar el nivel de preocupación entre los socios de implementación y otros actores clave con respecto a los impactos de la variabilidad y cambio climático.

Para identificar vulnerabilidades de proyectos de infraestructura de caminos rurales ante a variabilidad y el cambio climático, durante el Paso 1 se deberían responder a preguntas como las siguientes:

- ¿El camino en proyecto (o existente), se encuentra en una zona en la que las lluvias extremas causan estragos en los caminos rurales?
- Históricamente, ¿Se han vistos afectados los caminos rurales de la región a causa de las lluvias extremas y las inundaciones y deslizamientos de tierra que estas provocan?
- ¿El camino en proyecto (o existente), cruza por lugares donde el drenaje natural de las aguas de lluvia puede ocasionar daños al camino?
- ¿El camino en proyecto (o existente), cruza por lugares donde los derrumbes o deslizamientos de tierra pueden ocasionar daños al camino?
- ¿Reciben mantenimiento rutinario los caminos de la región?
- ¿Se tiene considerado darle mantenimiento rutinario al camino una vez que este sea construido?
- ¿Cuál sería el impacto en los caminos rurales de la región si la peor tormenta de la que se tienen registros en términos históricos sucediera con mayor frecuencia en el futuro?

Las respuestas a estas preguntas y los resultados del análisis, deben ser compilados, para su utilización en los pasos subsiguientes.

5.2.2 Paso 2: *Identificar las opciones de adaptación*

En el Paso 2, se identifican las opciones para la modificación de los proyectos en respuesta a las vulnerabilidades identificadas en el Paso 1. El Paso 2 incluye la compilación de una lista inicial de opciones de adaptación.

Al desarrollar una lista de opciones de adaptación podrían utilizarse una variedad de enfoques y fuentes de información dependiendo de los recursos y la disponibilidad de expertos para consultas. Un proceso que se recomienda para la compilación de una lista de acciones de adaptación se divide en actividades preparatorias y actividades participativas.

Las actividades preparatorias incluyen: revisar y extraer información sobre los impactos climáticos y las vulnerabilidades identificadas en el Paso 1; revisar programas y proyectos anteriores para determinar si las adaptaciones fueron identificadas, evaluadas o implementadas; revisar las estrategias y políticas nacionales pertinentes a las adaptaciones.

Las actividades participativas incluyen la realización de reuniones con los actores clave para discutir los impactos climáticos y opciones de adaptación. Esto puede incluir talleres, entrevistas con grupos focales más pequeños o entrevistas de campo. Consultar con expertos nacionales e internacionales sobre adaptaciones al cambio climático. La lista de adaptaciones desarrollada en las reuniones de interesados debe ser recopilada y compartida con expertos para obtener su ayuda en revisar las adaptaciones propuestas por los interesados e identificar deficiencias en la lista.

No se debe olvidar que **TODAS** las acciones de adaptación propuestas **DEBEN** responder a una o más de las vulnerabilidades identificadas en el Paso 1.

Es recomendable que la lista que compila las acciones de adaptación propuestas, sea socializada y discutida con todos los grupos de interés y actores clave del proyecto. La lista debe ser corta, para que existan oportunidades reales de que las actividades propuestas sean implementadas.

También es recomendable “categorizar” las acciones de adaptación propuestas en categorías que agrupen distintos tipos de actividad. Por ejemplo, se podría utilizar la clasificación siguiente:

- Construcción de infraestructuras

- Fortalecimiento y creación de capacidades
- Políticas
- Nuevas prácticas

Para ilustrar lo anterior, se muestra a continuación el listado de acciones de adaptación propuestas para un proyecto en el que se pretende reducir la vulnerabilidad de un camino rural a ser construido en un área afectada históricamente por fuertes precipitaciones (Ver Cuadro 9):

Cuadro 9. Listado ilustrativo de opciones de adaptación identificadas para un proyecto de construcción de caminos rurales

Categoría	Actividades de adaptación propuestas
Construcción de infraestructuras	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de obras de drenaje transversal y longitudinal para evacuar de forma segura las aguas. • Inspeccionar los tramos de caminos durante y posteriormente a la temporada de lluvias o a eventos de lluvia intensos, y proceder a efectuar las reparaciones inmediatamente. • Proteger los cortes y taludes con vegetación nativa, para prevenir los derrumbes y deslizamientos.
Fortalecimiento y creación de capacidades	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al personal encargado de la apertura del camino, para adoptar buenas prácticas de campo en la apertura de brechas y caminos. • Capacitar a las brigadas de mantenimiento para realizar inspecciones rutinarias y extraordinarias efectivas, que permitan identificar problemas y formular posibles soluciones. • Fortalecer la educación ambiental.
Políticas	<ul style="list-style-type: none"> • Adopción de políticas locales de ordenamiento territorial. • Creación de un código nacional que establezca las consideraciones mínimas de diseño de caminos rurales.
Nuevas practicas	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar estimaciones hidrológicas básicas en el diseño de obras de drenaje de caminos rurales. • Iniciar un esfuerzo local para el registro de información climática.

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Paso 3: Realizar el análisis

El propósito de este paso es evaluar cada una de las acciones de adaptación incluidas en la lista final del Paso 2. Las opciones deben ser evaluadas en base a su efectividad en generar mayor resiliencia a los cambios climáticos identificados en el Paso 1. Este análisis también debe tomar en cuenta el período de ejecución y presupuesto del proyecto, así como los requisitos para la implementación de las distintas opciones de adaptación.

A. Definir la línea base de desempeño

La única razón para modificar los planes de un proyecto es para mejorar el desempeño del mismo. Por lo tanto, es importante evaluar de qué manera se espera que el proyecto original se desempeñe bajo las condiciones actuales y aquellas pronosticadas, y luego comparar dicho desempeño con las opciones

identificadas en el paso 2. Este ejercicio consiste en la construcción de escenarios para el camino “sin acciones de adaptación” y “con acciones de adaptación”. Esto permitirá analizar la necesidad y justificación de cada acción propuesta, mejorando así el listado de acciones.

B. Crear una matriz para evaluar las adaptaciones

Como parte del análisis o evaluación de las opciones de mitigación, se pueden utilizar una variedad de factores o criterios, dependiendo de las opciones propuestas y de la naturaleza del proyecto. A continuación se presenta una lista ilustrativa de criterios que podrían ser utilizados en la evaluación de opciones de adaptación para caminos rurales. Esta evaluación servirá para la selección final de los criterios y para asignar un “peso” o nivel de importancia a cada uno de ellos:

- **Costo:** el costo de implementar las opciones de adaptación; tomar en cuenta el costo que conllevarían los potenciales daños asociados con el cambio climático, de no incluir consideraciones de adaptación en el proyecto;
- **Efectividad:** la efectividad de las opciones de adaptación como una solución a los problemas de vulnerabilidad y la exposición a las amenazas asociadas con la variabilidad climática y del cambio climático (los beneficios, daños mitigados, costos evitados, y vidas salvadas serían distintas facetas del término “efectividad”);
- **Facilidad de implementación:** incluye temas como los obstáculos a la implementación, como por ejemplo, la necesidad de ajustar otras políticas para dar paso a una opción de adaptación;
- **Aceptabilidad para los interesados locales:** en el Paso 2, se habrá identificado todas las adaptaciones que son factibles, pero no todas serán igualmente atractivas para todos los interesados, por razones políticas, económicas, sociales o culturales;
- **Capacidad institucional:** ¿Cuánta capacidad adicional y transferencia de conocimientos es necesaria para que la opción de adaptación sea implementada?
- **Tamaño del grupo de beneficiarios:** las adaptaciones que proporcionan pequeños beneficios a grandes grupos de personas a menudo serán preferidas sobre las que proporcionan beneficios más grandes, pero para menos personas.

El producto del Paso 3 sería una matriz sistematizando los resultados de la evaluación realizada. En el Cuadro 10, se muestra un ejemplo de esta matriz, que permitirá evaluar cuatro opciones de adaptación propuestas para un camino rural, desde el punto de vista de indicadores de costo, efectividad, facilidad de implementación y capacidad institucional.

Cuadro 10. Cuadro ilustrativo para la evaluación de opciones de adaptación

Opciones de adaptación	Costo	Efectividad`	Facilidad de implementación	Capacidad institucional
Opción 1	Alto	Alto	Alto	Bajo
Opción 2	Bajo	Medio	Alto	Alto
Opción 3	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Opción 4	Medio	Medio	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Paso 4: *Seleccionar un curso de acción*

El propósito de este paso es utilizar los resultados del Paso 3 para seleccionar una o más acciones u opciones de adaptación para ser implementadas para un proyecto planificado o existente. Este paso es muy importante en términos del éxito final de los elementos de vulnerabilidad y adaptación (V&A). También, es el paso esencial en cuanto a la apropiación de los actores locales del proceso y decisión, así como a la estrecha coordinación necesaria entre quienes proponen el proyecto y los actores clave. Básicamente, este paso “sistematiza” los resultados del paso anterior, al extraer del listado general de opciones de adaptación, únicamente aquellas que, a partir del análisis del paso 3, se decidió que serán implementadas.

5.2.5 Paso 5: *Implementación de las adaptaciones*

Una vez que las opciones de adaptación han sido seleccionadas, el próximo paso es la implementación. Si se trata del caso en que se modificará un proyecto existente para incorporar consideraciones de adaptación, la implementación de las opciones vendrá a formar parte de la estrategia de implementación existente.

El plan de implementación normalmente debe incluir, al menos, los siguientes componentes:

- Una definición de las tareas específicas;
- Un cronograma de trabajo;
- El actor responsable de cada una de las tareas específica y su función como involucrado en la implementación;
- Requerimientos de recursos.

Estos componentes pueden ser sistematizados en una estructura de matriz, similar a una versión simplificada de las matrices de marco lógico, ampliamente utilizadas en la planificación.

El plan de implementación también debería incluir planes accesorios: Un plan de evaluación y capacitación en el fomento de capacidades; un plan financiero para garantizar el flujo de recursos económicos requeridos por el plan de implementación realizado; un plan de comunicación; un plan de monitoreo del desempeño o efectividad de las adaptaciones seleccionadas.

Básicamente, este paso trata de delinear la línea de tiempo del proyecto. Esto significa, determinar cómo las opciones de adaptación, identificadas, analizadas y finalmente seleccionadas, se insertan en las diferentes fases del ciclo del proyecto. El resultado de este paso corresponde entonces a la “estrategia de adaptación” de determinado proyecto, en este caso, ante las amenazas asociadas con el cambio y la variabilidad climática.

5.2.6 Paso 6: *Evaluación de las adaptaciones*

Después de implementar las opciones de adaptación, el paso final es la evaluación de las mismas. El propósito de la evaluación es determinar si el proyecto y/o sus actividades de adaptación: 1) proporciona los beneficios previstos y/o 2) causa resultados adversos.

- Logro de objetivos: se deben evaluar los indicadores establecidos en el plan de acción para determinar si las acciones emprendidas lograron sus objetivos o no.
- Algunos criterios básicos sugeridos para la evaluación de la efectividad de las acciones de adaptación implementadas incluye:

- Facilidad de implementación. ¿Qué tan fácil o difícil resultó la implementación del proyecto? ¿Cómo se compara con lo que se esperaba para la implementación del plan?
- Costos. ¿Los costos de implementación fueron los que se esperaban? La evaluación debe examinar:
- Impactos adversos. ¿El proyecto o actividad ha producido impactos adversos, como impactos
- Creación de beneficios. ¿El proyecto ha producido beneficios inmediatos? ¿Cómo se comparan con los que se anticiparon en el plan de implementación?

Si la evaluación revela que las adaptaciones no han sido exitosas para enfrentar la variabilidad y el cambio climático, entonces será necesario regresar eventualmente al Paso 3 y re-evaluar las posibles adaptaciones y seleccionar nuevas adaptaciones o modificar el conjunto actual de adaptaciones. El éxito de las adaptaciones se comprobará tanto en la comparación con la situación prevaleciente antes de implementar el proyecto, tal y como se estableció en el paso 3.

La evaluación de la efectividad de un proyecto o actividad en la reducción de riesgos por variabilidad y cambio climático puede presentar problemas inmediatos, por dos razones:

1. El proyecto puede ser diseñado para reducir la vulnerabilidad a eventos extremos poco frecuentes. Si un evento extremo ocurre, entonces el proyecto o actividad puede ser evaluado. Si un evento de esta índole no ocurre, puede ser difícil determinar si el proyecto o actividad se implementó adecuadamente.
2. El proyecto puede haberse modificado para incorporar opciones de adaptación a riesgos a largo plazo del cambio climático, lo cual podría hacerlo aún más difícil de evaluar. Puede que los riesgos a largo plazo del clima no sean evidentes a la hora de evaluar el proyecto. Esta falta de un beneficio inmediato no debe ser un factor en el análisis de la decisión.

5.3. Análisis hidrológico y diseño hidráulico

Como se ha explicado anteriormente, de forma general las redes viales, y dentro de estos los caminos rurales, son muy vulnerables a los impactos del cambio climático, por lo que se promueve la incorporación de medidas de protección contra el clima y su variabilidad, incluyendo los eventos hidrometeorológicos extremos.

Establecer medidas para abordar la dimensión hidrológica durante el diseño de los caminos rurales y sus estructuras, es un paso fundamental para evitar los peligros, daños y accidentes a la sociedad y sus medios de vida. La incorporación de un análisis hidrológico para el diseño hidráulico de las estructuras y obras de drenaje, es una de las principales consideraciones de adaptación a las condiciones de cambio y variabilidad climática. Con esto se logra que desde el comienzo, los caminos que son diseñados para resistir los impactos de los cambios climáticos, reducen los costos de mantenimiento a largo plazo.

5.3.1 Algunas consideraciones previas

Respecto a la variabilidad y cambio climático, es importante hacer algunas consideraciones previas en el tema de hidrología. Normalmente los modelos de cambio climático se centran en cambios globales del clima para grandes territorios, indicando menor o mayor precipitación anual lo que implicara una mayor o menor cantidad de agua.

Sin embargo, no son los cambios climáticos a largo plazo los que impactan el diseño de un camino, sino realmente la intensidad de lluvia, su duración y la frecuencia con la que se repite. Una lluvia intensa de corta duración puede generar un caudal de gran magnitud, que probablemente durará solamente unos minutos o pocas horas, pero si no es conducido adecuadamente dañará el camino significativamente.

Por otro lado la normativa de caminos establecida en el documento “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes” (DGC-MICIVI, 2000), se concentra más en el tema de materiales y especificaciones requeridas, lo cual es importante, y también algunas normas sobre diámetros mínimos de alcantarillas, así como normas de la geometría de carreteras de acuerdo a su tipo. Pero poco hay con respecto a los métodos de diseño de drenajes.

Normalmente el diseño, especialmente en caminos rurales, se reduce a un mínimo, basado en normas geométricas, mientras el diseño de drenajes está basado en cunetas estandarizadas con tuberías y alcantarillas mínimas. Sin embargo, un adecuado análisis hidrológico permitirá dar una vida útil más larga para los caminos rurales que adolecen normalmente de poco mantenimiento, además por tratarse en la mayoría de los casos de caminos terracería, son más vulnerables a la erosión.

Aunque existe infinidad de manuales para el diseño de drenajes en carreteras uno de los principales problemas es y sigue siendo la hidrología, especialmente en Guatemala donde los datos hidrometeorológicos existentes son limitados. La determinación del caudal a transportar es vital para el diseño hidráulico de las obras de drenaje. Por ello la estimación adecuada de los caudales es de suma importancia. La intervención de un hidrólogo en el diseño de caminos rurales, raramente se da, pues los recursos con los que se cuentan normalmente son escasos.

En este manual presentamos un procedimiento y algunos métodos básicos que permitirán calcular estos caudales con un cierto grado de certeza. Se presentan los métodos y se hace un análisis de cuándo y porqué aplicar cada uno de los métodos.

5.3.2 *Procedimiento para la estimación de los caudales de diseño*

Las dimensiones de las estructuras de drenaje de un camino, deberán estar basadas en un caudal razonable de diseño, así como en las características del sitio y en consideraciones ambientales. La determinación de este caudal es de importancia fundamental para que la estructura pueda funcionar correctamente y para prevenir fallas y daños ante la ocurrencia de eventos de precipitación extrema.

Un caudal razonable de diseño se basa comúnmente en una tormenta que tiene una frecuencia de recurrencia (periodo de retorno) de 20 a 100 años, dependiendo del tipo y vida útil esperada. Las alcantarillas tienen una capacidad de flujo limitada que no debería excederse, para evitar daños al camino. Los puentes también tienen una capacidad específica para la sección transversal de diseño, pero esta es generalmente grande. El diseño de vados o cruces en estiaje se basa en estimaciones tanto de los caudales mínimos como de los máximos para ese drenaje en particular, pero son menos sensibles a las estimaciones del flujo.

La mayoría de los métodos de determinación del caudal implica la definición o estimación del área de drenaje. Este trabajo usualmente se realiza mediante la delineación del área de la cuenca de captación sobre un mapa topográfico. Para la estimación de los caudales razonables de diseño, cuando menos debería usarse el llamado Método Racional, basado en la precipitación pluvial, para determinar la descarga de pequeñas cuencas de captación, con un área de drenaje de no más de aproximadamente 120 hectáreas.

El Método Racional, de aplicación relativamente sencilla, puede resultar útil para hacer una estimación preliminar del diámetro de tubería necesario, en función del área de drenaje.

A. Reconocimiento del área

Para lograr un buen diseño, es indispensable hacer un recorrido por el trazo propuesto del camino. En este recorrido se deben identificar los drenajes naturales que atraviesan el trazo (torrentes), identificarlos y ubicarlos en el mapa y planos. En la actualidad esta actividad se puede realizar fácilmente utilizando receptores GPS. Si no se cuenta con esta opción, será necesario ubicar los puntos en un plano del trazo de la carretera, que deberá posteriormente ser ubicado sobre una hoja cartográfica.

Idealmente el recorrido debería hacerse en época lluviosa para identificar con seguridad los pasos de agua, pero en la época seca también se pueden identificar los puntos al observar las marcas de erosión y sedimentación que los torrentes han provocado.

Además de los torrentes es necesario identificar los ríos y riachuelos permanentes que requerirán obras de mayor magnitud como vados o incluso puentes. En este último caso, es necesario hacer al menos tres transversales que permitan definir la sección hidráulica del río. Las secciones transversales deberán medirse en el ancho natural del cauce, es decir hasta donde las marcas de crecida indican que el nivel del río ha llegado. Es necesario medir la forma de la sección, haciendo lecturas de la profundidad del fondo con respecto a la altura máxima que se haya identificado. Idealmente esto se hace con equipo de topografía, pero con una cinta métrica, un nivel de manguera y unas reglas se pueden hacer secciones aproximadas, con suficiente nivel de detalle. Es conveniente y útil conversar con los habitantes locales para que comenten cómo se comportan estos ríos y riachuelos; algunas veces la información que proporcionan puede ser exagerada, pero en otras ayudara a identificar límites máximos que son importantes para el diseño.

B. Determinación del caudal

Para determinar el caudal existen varios métodos, con distintos niveles de complejidad y fiabilidad de los resultados. En el marco del presente manual se describirá el Método Racional, uno de los más sencillos de aplicar y que produce resultados aceptablemente confiables. Más adelante se presenta un ejemplo de la utilización de este método.

a) Fórmula o método racional

Se usa con frecuencia para la determinación de caudales en cuencas de captación pequeñas y se puede aplicar en la mayoría de las zonas geográficas. Resulta particularmente útil cuando, como en el caso de Guatemala, no se tienen datos de flujo de riachuelos locales y se puede usar para hacer una estimación aproximada del caudal para grandes cuencas de captación, a falta de otras opciones.

El concepto detrás de este método asume que si se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo, al principio, el caudal que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará el momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, en el que el volumen que entra por unidad de tiempo por la lluvia sea el mismo que el caudal de salida de la cuenca.

El método racional utiliza la siguiente fórmula para la estimación del caudal máximo posible:

$$Q_p = CiA_c$$

Donde: Q_p = es el caudal máximo posible que puede producirse en el punto en que el drenaje atraviesa el camino, con una lluvia de intensidad i en una cuenca de área A_c y coeficiente de escurrimiento C .

i. Determinación del factor A:

El área de drenaje (A) es aquella superficie de tierra que drena hacia nuestro punto de salida, porque los límites topográficos del terreno no le permiten al agua ir en otra dirección. El área es uno de los factores más importantes para determinar el caudal de agua, por ello su delimitación es muy importante. Para determinar las áreas de drenaje es necesario entender que los límites del área de drenaje los define el relieve del terreno.

El trazo manual de las áreas de drenaje o microcuencas se puede realizar en una hoja cartográfica 1:50,000 o si se dispone de un SIG con las curvas de nivel de la zona se puede trazar automática o manualmente. Para trazar las áreas de drenaje es necesario partir del punto de salida del agua o punto de control y subir por el terreno hasta que se encuentre los puntos más altos que delimitan a otra corriente o microcuenca.

Para determinar el área, se puede medir directamente de la hoja cartográfica con un planímetro o en su defecto contando las cuadrículas (normalmente cada cuadro de la hoja 1:50,000 equivale a 1 km²), se pueden estimar pequeñas figuras geométricas como triángulos y rectángulos para ajustar más las dimensiones del área.

ii. Determinación del factor C:

C es un coeficiente de escurrimiento, que representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y depende de factores como el uso de la tierra. En este valor se reflejan las diferentes características de la cuenca de captación que afectan el escurrimiento. El diseñador debe desarrollar experiencia y usar su criterio para seleccionar el valor apropiado de C para una obra en particular. Es de hacer notar que el valor de C es susceptible de cambiar en el curso de la vida útil de la estructura, debido a cambios en el uso del suelo de un bosque para convertirse en terrenos agrícolas, o como resultado de un incendio en la cuenca de captación.

En general, para calcular el C de una cuenca determinada se debe elegir este factor de acuerdo al tipo de cobertura, topografía y condiciones del suelo. Con un promedio ponderado se calcula el coeficiente final de toda la cuenca. El Cuadro 11 muestra las opciones para la selección del factor C

Cuadro 11. Coeficiente de escorrentía

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Benítez et al (1980), citado por (Lemus & Navarro, 2003).

iii. Determinación del factor *i*:

El factor *i* corresponde a la intensidad de lluvia y es el factor que resulta más difícil de obtener. Se expresa como la intensidad promedio de lluvia en milímetros por hora (mm/h) para una cierta frecuencia de recurrencia y para una duración igual al Tiempo de Concentración de la cuenca de captación.

Al inicio de una tormenta, el escurrimiento desde partes distantes de la cuenca de captación no ha llegado al punto de descarga (cruce con el camino). Una vez que el escurrimiento alcanza el punto de descarga, al transcurrir el *tiempo de concentración*, tendrá lugar un régimen de flujo estable. Este periodo inicial constituye el “Tiempo de Concentración”. Para el caso de cuencas de captación muy pequeñas, se recomienda un tiempo mínimo de concentración de 5 minutos para encontrar la intensidad que se usará en la determinación de los caudales de diseño.

El tiempo de concentración es necesario para calcular la intensidad y se puede estimar dividiendo la distancia de la ruta de escurrimiento (cauce más largo) por la velocidad promedio de escurrimiento. Para la determinación de la longitud del cauce más largo, esta se puede medir en campo con un longímetro o simplemente utilizar un hilo, colocándolo a lo largo del cauce con todas sus curvas y al final, medirlo con una escala o cinta métrica. La diferencia de nivel se estima contando las curvas de nivel de la hoja cartográfica y se utiliza para determinar la pendiente promedio o principal del cauce.

El tiempo de concentración depende entonces de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere dentro de la misma. Esta velocidad está en función de las pendientes del terreno y los cauces, y de la rugosidad de la superficie de los mismos. El tiempo de concentración se puede calcular mediante la ecuación del “Texas Highway Department Rational Design of Culverts and Bridges”:

$$t_c = \frac{L}{3,600v}$$

Donde t_c es el tiempo de concentración, L es la longitud del cauce principal de la cuenca en metros y v es la velocidad media del agua en el cauce principal en m/s. La velocidad media v se estima utilizando las siguientes tablas, según se disponga o no de información sobre la cobertura de la tierra:

Pendiente del cauce principal %	Velocidad media, m/s
1-2	0.6
2-4	0.9
4-6	1.2
6-8	1.5

Pendiente %	Velocidad media, m/s		
	Bosques	Pastizales	Canal natural no bien definido
0-3	0.3	0.5	0.3
4-7	0.6	0.9	0.9
8-11	0.9	1.2	1.5
12-15	1.1	1.4	2.4

Una vez calculado el tiempo de concentración, el diseñador debe recurrir al uso de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia de Lluvias (IDF), para estimar el factor i (intensidad de la lluvia). Las curvas IDF son desarrolladas a partir de datos locales de precipitación pluvial y deberían obtenerse cuando se trabaja en una zona en particular.

En el caso de Guatemala, para obtener la curva IDF adecuada para el sitio del proyecto, existen tres opciones:

1. Seleccionar la curva IDF de la estación más cercana.
2. Construir la ecuación al período de retorno correspondiente basándose en los mapas de intensidad de lluvia del Atlas hidrológico de INSIVUMEH.
3. Utilizar el equivalente del paso anterior, visitando el Sitio Web “GuateAgua”, mantenido por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. En este sitio es posible generar la curva de interés para la ubicación del proyecto. La dirección URL es <http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/>. Una vez dentro del sitio, seleccionar la opción de mapas y posteriormente la opción curvas IDF de lluvia. Allí se debe hacer clic sobre el mapa en la ubicación más cercano al sitio del proyecto y así, el sistema le generará las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia correspondientes para esa zona.

Una limitante es que a veces por la calidad de los datos existentes no se tienen todos los periodos de retorno que se desean para todos los sitios, pero eso es debido a que los registros para esa zona son muy cortos.

Otra limitante importante, es que las curvas IDF, son construidas con base en registros climáticos históricos. El periodo de tiempo cubierto por estos registros en Guatemala, permiten inferir que probablemente la tendencia histórica no permita capturar adecuadamente los efectos recientes y futuros causados por el cambio climático en el comportamiento de las lluvias. El Recuadro 3 muestra las estimaciones hidrológicas bajo escenarios de cambio climático.

Recuadro 3. Estimaciones hidrológicas bajo escenarios de cambio climático

Las estimaciones hidrológicas basadas en el uso de las curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias, son de uso muy común en ingeniería, incluyendo su utilización en el dimensionamiento de obras de drenaje.

En términos de la consideración del cambio climático en el diseño de caminos rurales, las curvas IDF presentan la limitante de que las mismas son construidas con base en registros climáticos históricos. Esta situación puede ocasionar que la tendencia histórica no capture adecuadamente los efectos recientes y futuros causados por el cambio climático en el comportamiento de las lluvias extremas.

Recientes investigaciones como la realizada por Acevedo (2009), quien analizó el efecto del cambio climático en las futuras curvas IDF en Colombia, mediante la aplicación de modelos de cambio climático, ha concluido que, de acuerdo con los principales modelos de cambio climático, se darán grandes cambios en la intensidad como en la distribución espacial de las precipitaciones extremas, principalmente en las regiones tropicales.

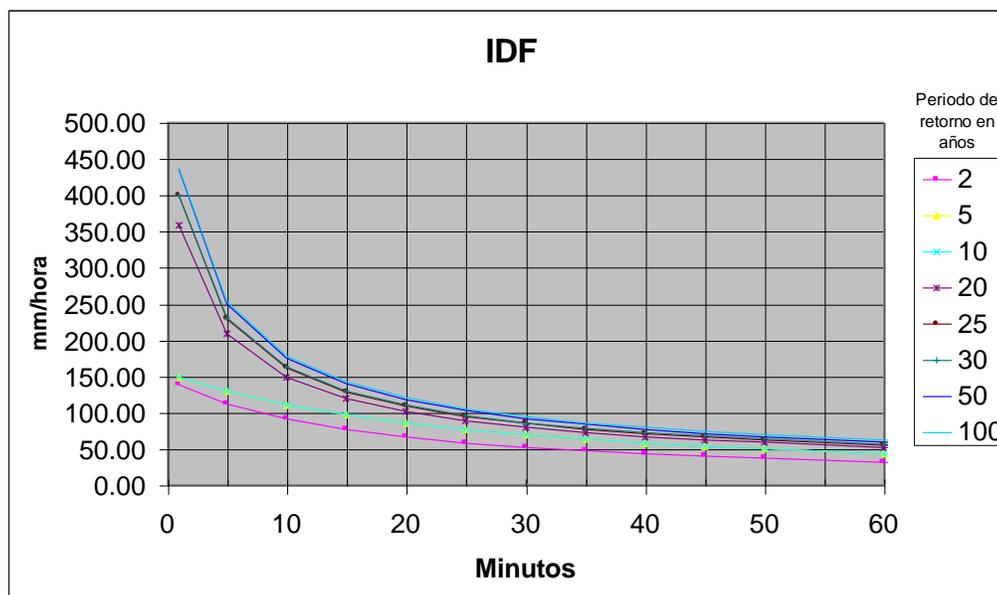
Ante esta situación, y en el caso de particular de Guatemala, en donde las curvas IDF son calculadas en función de registros históricos no actualizados, provenientes de un número limitado de estaciones, se hace recomendable que se desarrollen curvas IDF que tomen en consideración los cambios esperados en el comportamiento de las precipitaciones extremas a consecuencia del cambio climático, mediante la incorporación de las proyecciones estimadas a través de modelos.

Lo anterior contribuiría a los efectos proyectados del cambio climático, sean considerados en el diseño de obras hidráulicas para la evacuación segura de la escorrentía originada por eventos de lluvia, aumentando la resiliencia de la infraestructura ante dichos efectos.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado es una curva IDF, como se muestra en la Figura 6, la cual corresponde a la estación de INSIVUMEH en la ciudad de Guatemala.

Figura 6. Curva de intensidad duración y frecuencia de la Estación de INSIVUMEH



Fuente: Elaboración propia con los datos del INSIVUMEH, para la Ciudad de Guatemala.

Para obtener la intensidad de lluvia correspondiente, se debe seleccionar del eje de las x el tiempo de concentración en minutos (calculado anteriormente) y luego buscar el periodo de retorno correspondiente para seleccionar la curva que se requiere.

El periodo de retorno significa la probabilidad de ocurrencia de un evento de cierta magnitud, o dicho de otra manera la posibilidad de que ese evento ocurra una sola vez dentro del periodo. A mayor periodo de retorno la magnitud de la intensidad será mayor. El periodo de retorno se selecciona en base a la vida útil de la infraestructura a diseñar. Así si la carretera tiene proyectada una vida útil de 25 años, el periodo de retorno a utilizar será de 25 años.

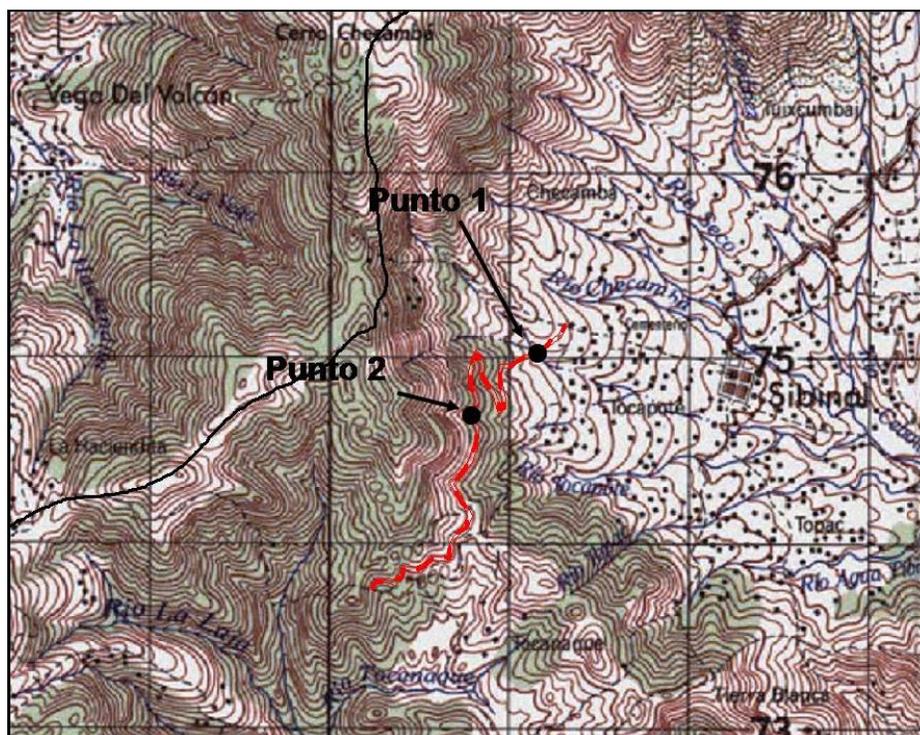
Una vez que se han estimado los factores C , A e i , se procede finalmente al cálculo del caudal máximo, utilizando la fórmula descrita anteriormente. El cálculo del caudal máximo constituye la base para la estimación de las dimensiones de las estructuras de drenaje de un camino.

b) Ejemplo práctico de estimación de caudales de diseño

El ejemplo consiste en una propuesta de camino rural que une dos brechas existentes, cerca de Sibinal, en el departamento de San Marcos. Las brechas ya han sido ampliadas previamente, por lo que ahora se quiere unirlos. A través de una visita de reconocimiento al sitio del proyecto, se determinó que es

necesario estimar el caudal del drenaje menor en dos puntos específicos (puntos 1 y 2) en los que el tramo de camino a construir es cruzado por el drenaje natural, según el trazo propuesto que se ha dibujado sobre una hoja topográfica 1:50,000 (Ver Figura 7).

Figura 7. Tramo carretero propuesto



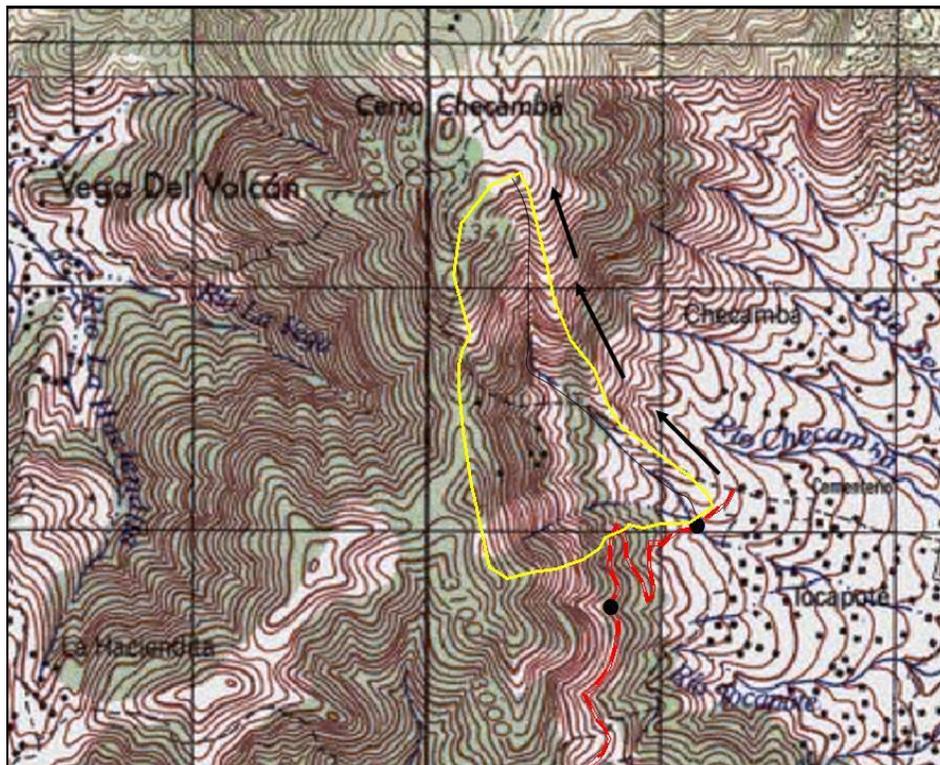
Nota: Los puntos negros identifican los cruces para los que se determinara el área de drenaje.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el área de la cuenca que tributa a los puntos 1 y 2 en el que el drenaje intersecta el camino propuesto, se utilizará la interpretación visual de las curvas de nivel contenidas en la hoja cartográfica. Es importante que el límite de la microcuenca o área de drenaje no cruce las corrientes, es decir que no cruce las curvas de nivel cóncavas descendentes.

En la Figura 8 se muestra como se delimita el área de drenaje correspondiente al Punto 1. Las flechas indican como se hace el trazo, siguiendo las curvas hacia afuera que no forman un cauce. En este caso como el punto esta aguas abajo de donde se unen dos quebradas el área debe ampliarse hasta acaparar la quebrada, incluso llega a intersectar la carretera en un punto más alto.

Figura 8. Trazo del área de drenaje para el punto I

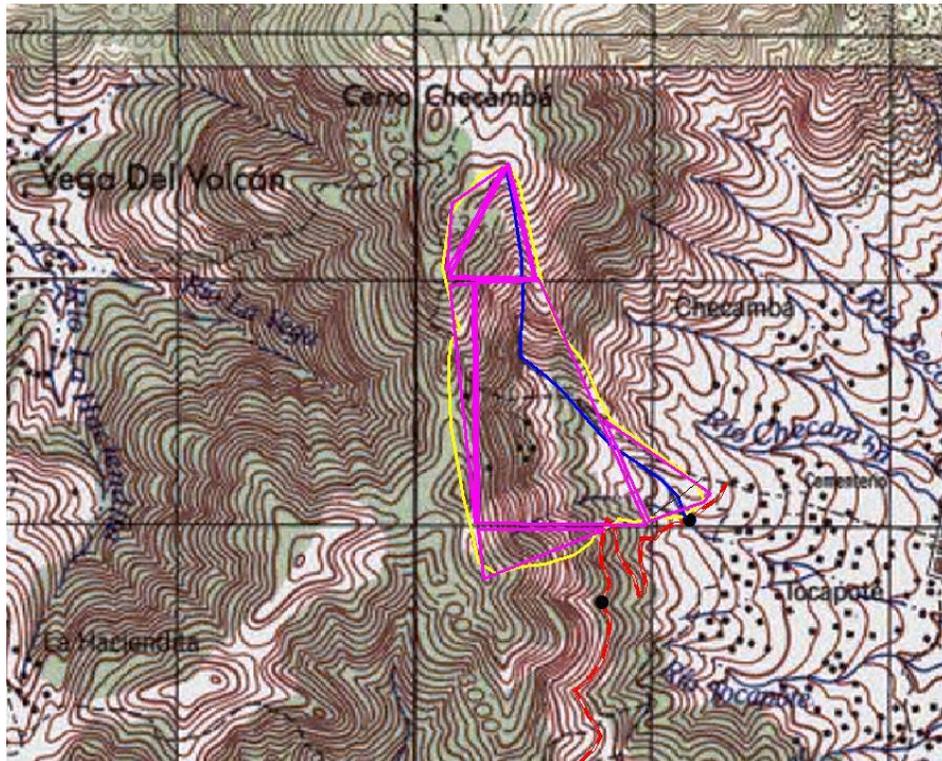


Fuente: Elaboración propia.

Luego se traza el cauce más largo el cuál se identifica con una línea azul en la Figura 9. Para medir el área de drenaje, se puede utilizar un planímetro, o bien, se estima el área dibujando figuras geométricas para las que es sencillo calcular el área (como se muestra en polígonos de color lila en la Figura 9). En este ejemplo, el área resultante de medir con figuras geométricas es de aproximadamente 0.8 Km² mientras que el área medida con sistemas digitales es de 0.93 km². La longitud del cauce más largo es de 1.73 Km y la diferencia de altura es de una máxima de 3,320 m a la cota de salida aproximadamente 2,640 metros es decir 680 metros.

Con esta información podemos proceder para calcular las crecidas, utilizando el método racional, descrito anteriormente.

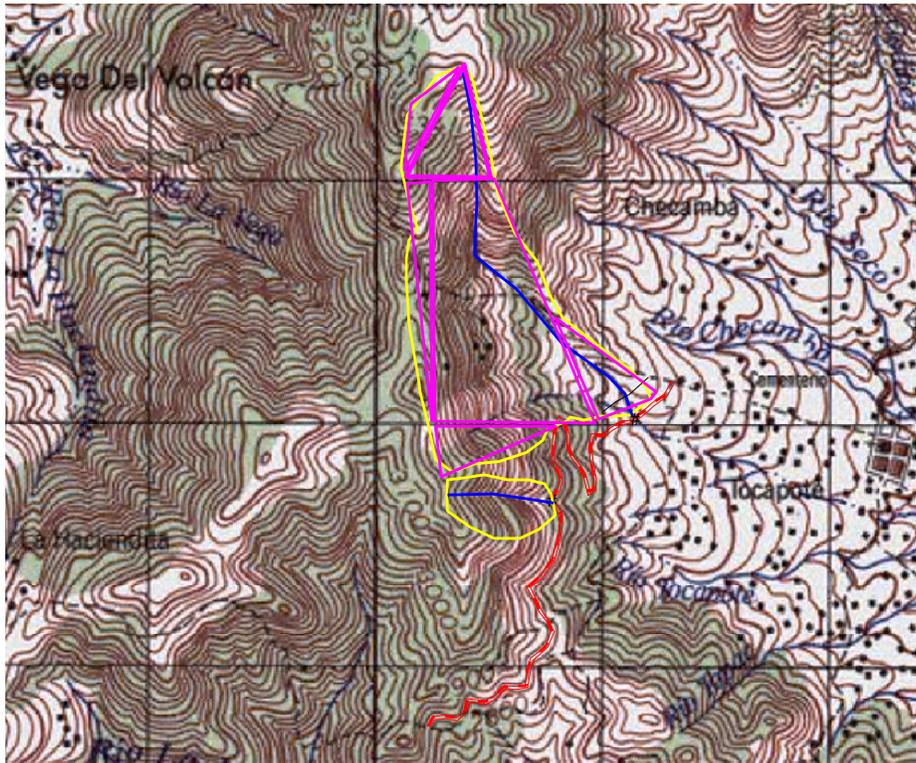
Figura 9. Cauce más largo y polígonos para la estimación del área



Fuente: Elaboración propia.

El proceso se replica para el punto 2 (Ver Figura 10). El área de drenaje es de 0.101 km² y el cauce más largo de 470 m. La diferencia de nivel es desde 240 metros (de 3180m hasta 2940m en el punto de salida).

Figura 10. Definición del área de drenaje del punto 2

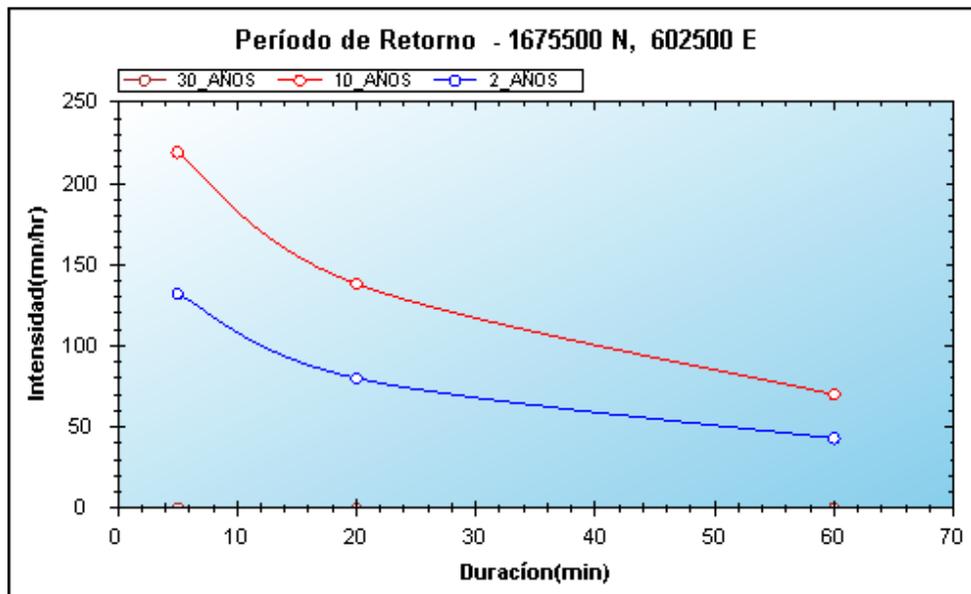


Fuente: Elaboración propia.

iv. *Cálculo de Crecidas*

Para el Punto 1 se realizara con los tres métodos y para el punto dos solamente con la formula racional. Accediendo al sitio “GuateAgua” se generaron las curvas IDF más cercanas al proyecto (Ver Figura 11).

Figura 11. Curvas IDF para el área del proyecto



Fuente: GuateAgua (obtenido del sitio <http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/>)

Duración	30_Años	10_Años	2_Años
5	0	219	132
20	0	138	80
60	0	70	43

Nota:

La información generada por GuateAgua fue comparada con la curva IDF de la estación más cercana, ubicada en Huehuetenango. Esta comparación mostró que los valores de intensidad en la estación de Huehuetenango son mucho menores a los estimados por GuateAgua, por lo que se optó por utilizar estos últimos.

Para el cálculo del Punto I siguiendo el método racional, se muestran los datos medidos y calculados en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Parámetros medidos y calculados para la estimación del caudal de diseño por el método racional

Punto uno	Método de cálculo	Cantidad	Unidades
Área Ac	Medida en campo	93.00	Ha
Longitud L	Medida en campo	1,730.00	m
Diferencia de nivel H	Calculada	680.00	m
Pendiente S	H/L	0.3931	m/m
Tc (horas)	Formula	0.20	horas
Tc (minutos)		12.0	minutos
Vm	A partir de la tabla	2.4	m/s
Intensidad i	Dato de GuateAgua	180	mm/hr
Coefficiente C			
Área de Bosque	De inspección de campo	30	%
Coefficiente C	De tabla de Benítez	0.4	
Área de pastos	De inspección de campo	70	%
Coefficiente C	De tabla de Benítez	0.3	
Coefficiente ponderado		0.33	
Caudal (Qp)	$C*i*Ac/360$	15.35	m3/s

Fuente: Elaboración propia.

El caudal resultante (Qp) es la base para dimensionar el diseño de la obra de drenaje requerida en el Punto I.

v. Buenas prácticas para el diseño hidrológico

La hidrología es una ciencia que trata los fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico. El diseño hidrológico busca interpretar y cuantificar esos fenómenos, con el fin de proporcionar un soporte a estudios, proyectos y obras de ingeniería hidráulica, de infraestructura y de medio ambiente.

No.	Prácticas recomendadas
1	Para el diseño hidrológico, usar los mejores métodos disponibles para determinar los caudales de diseño del proyecto.
2	Donde resulte apropiado, usar estructuras de drenaje que no sean sensibles a las predicciones exactas de flujo, tales como cruces en estiaje (vados) y vados superficiales transitables, en comparación con tubos de alcantarilla.
3	Agregar un bordo libre o capacidad adicional a estructuras en drenajes con caudales inciertos o en cuencas de captación que tengan usos cambiantes del suelo, generalmente del orden de 120 a 150%.
4	Para minimizar riesgos a estructuras, la frecuencia recomendada de tormentas (periodo de retorno) para el diseño de alcantarillas es de 20 a 50 años, y se recomienda de 100 a 200 años para puentes o drenajes con problemas ambientales críticos.
5	Para alcantarillas instaladas en zonas con datos hidrológicos limitados o con diseños inadecuados, incluir protección por derrames (desbordamiento) para reducir el riesgo de falla total o el desvío de riachuelos.
6	Considerar fuertemente la intervención de hidrólogos e ingenieros en los procesos de diseño hidrológico e hidráulico.

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Instalación de estructuras de drenaje sin haber hecho algún tipo de evaluación racional o estadística del caudal.

vi. Buenas prácticas de diseño hidráulico

El diseño hidráulico comprende un conjunto de conceptos básicos que se deben tomar en cuenta para diseñar y construir proyectos de infraestructura vial, reduciendo el riesgo de falla.

Entre estos conceptos, un recurso comúnmente utilizado es la aplicación de la Fórmula de Manning. Esta es una fórmula para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, por medio de la cual se puede determinar la capacidad y velocidad del flujo en los proyectos de infraestructura, con lo que se puede diseñar la colocación de enrocamientos para la protección de las márgenes de un riachuelo y contra la socavación, y de zonas de filtros para evitar tubificación y socavación, combinado con el empleo de grava o de geotextiles, son todas ellas importantes consideraciones de diseño en el caso de estructuras hidráulicas y de caminos.

Para el diseño básico de drenaje para caminos, con frecuencia se recurre a la Fórmula de Manning para la determinación de las velocidades de flujo en cauces naturales, para determinar el volumen de ese escurrimiento y para la determinación de la capacidad de flujo de canales y cunetas. El uso de la Fórmula de Manning para determinar las velocidades de la corriente y el caudal está bien documentado en muchos manuales de ingeniería y de hidráulica, por lo que los ingenieros de caminos que estén realizando diseños básicos hidráulicos deberían familiarizarse con ese método y con sus aplicaciones.

Los canales complejos con flujos inestables o críticos, que varían rápidamente, deben evaluarse con la participación de un ingeniero hidráulico especializado.

5.4. Buenas prácticas propuestas para la adaptación de los caminos rurales a la variabilidad y cambio climático

Para contribuir a que un proyecto de caminos tenga éxito, así como dotarle de resiliencia ante las amenazas hidrológicas, deben llevarse a cabo una serie de pasos de un proceso de gestión. Las etapas básicas son las siguientes:

- Planificación
- Ubicación
- Levantamiento topográfico
- Diseño
- Construcción
- Mantenimiento

Omitir una de estas etapas, puede causar que el funcionamiento de un camino resulte deficiente, incumplir sus expectativas, fallar prematuramente, reducirse su vida útil o causar impactos de mantenimiento o ambientales innecesariamente altos.

Sin una planificación y una buena ubicación, un camino puede no servir adecuadamente a sus usuarios o puede ubicarse en una zona problemática. Hace falta el levantamiento topográfico y el diseño para adecuar el camino al terreno y hacer que funcione correctamente. Con una buena construcción se garantiza que el diseño sea implementado y se construya con cierto grado de control de calidad.

El mantenimiento es necesario para mantener el camino en condiciones transitables y los drenajes funcionen correctamente. Por último, es posible que un camino mal diseñado o construido tenga que reconstruirse o cerrarse (ponerlo fuera de servicio) a fin de eliminar los problemas.

Entre algunas de las Mejores Prácticas de Gestión claves aplicadas al diseño y construcción de caminos (Keller y Sherar, 2008), se pueden mencionar las siguientes:

- Minimizar el ancho del camino y el área a ser alterada por la construcción y operación del mismo;
- Evitar la alteración de los patrones naturales de drenaje;
- Proporcionar drenaje superficial adecuado;
- Evitar terrenos escarpados con taludes de más de 60%;
- Evitar problemas tales como zonas inundadas o inestables;
- Mantener una distancia o separación adecuada de riachuelos y minimizar el número de cruces de drenaje;
- Minimizar el número de intersecciones entre caminos y corrientes de agua, y minimizar el potencial de desvío;
- Diseñar los cruces de ríos y riachuelos con la suficiente capacidad, con protección de las márgenes contra la erosión;
- Evitar la constricción del canal activo de riachuelos;

- Conseguir una superficie del camino estable y estructuralmente sana;
- Instalar subdrenaje donde se necesite;
- Reducir la erosión colocando cubiertas vegetales o físicas sobre el terreno en cortes, terraplenes, salidas de drenajes y cualquier zona expuesta o alterada;
- Usar ángulos de talud estables en cortes y terraplenes;
- Usar medidas de estabilización de taludes, estructuras y obras de drenaje conforme se necesiten;
- Proporcionar un mantenimiento periódico del camino;
- Cerrar o sacar de servicio a los caminos cuando no se usen cuando ya no se necesiten.

5.4.1 *Diseño y construcción de caminos rurales*

Durante las fases de diseño y construcción de caminos rurales se debe tomar en cuenta aspectos relacionados con:

A. Planificación de caminos

La planificación y el análisis de caminos son actividades clave para garantizar que un camino satisfaga las necesidades del usuario, que no esté sobrediseñado, que minimice los impactos al ambiente y a las poblaciones asentadas a lo largo del camino y que tome en cuenta las necesidades futuras de una región. Con los objetivos de Gestión de Caminos se ayuda a definir y a documentar la finalidad del camino, las especificaciones y la manera en que un camino se va a usar, administrar, mantener y financiar, así como las prácticas mejores prácticas de gestión, aplicables al camino en cuestión.

No.	Prácticas recomendadas
1	Realizar el análisis de transporte para el camino, a fin de determinar el sistema de caminos óptimo para una cierta zona, así como las necesidades de los usuarios y la evaluación de las opciones futuras.
2	Mantener las especificaciones mínimas de caminos congruentes con las demandas y necesidades de los usuarios, con los Objetivos de Gestión de Caminos y con la seguridad pública.
3	Usar un enfoque de Equipo Interdisciplinario de trabajo para la planificación de caminos y coordinar el desarrollo con los propietarios locales de la tierra.
4	Utilizar elementos e información territorial como mapas topográficos, fotos aéreas, información de suelos, etc. para la planificación de la ruta óptima.
5	Considerar necesidades de acceso de los usuarios del camino, tanto a corto plazo como a largo plazo.
6	Limitar el área alterada minimizando el número, ancho y longitud de los caminos.
7	Usar los caminos existentes únicamente si satisfacen las necesidades a largo plazo de la zona y si se pueden reconstruir para proporcionar drenaje adecuado y seguridad.
8	Minimizar en lo posible el número de cruces de drenaje.

B. Ubicación de caminos

La ubicación de los caminos es un elemento de diseño clave para garantizar que un camino se ubica en una zona adecuada, que se evitan rasgos topográficos o zonas problemáticas en las que la construcción

es muy costosa o riesgosa, que constituye el mejor acceso a zonas carentes de caminos, y que minimiza la distancia de recorrido entre puntos de destino.

Resulta mucho mejor tener un mal camino en una buena ubicación, que un buen camino en un lugar inadecuado. Un mal camino se puede reparar. Una mala ubicación no puede cambiarse. La mayor parte de la inversión en un camino malo se puede recuperar, pero si la ubicación es deficiente, es muy poco lo que se puede recuperar.

No.	Prácticas recomendadas
1	En la selección de la ubicación de caminos y en el diseño de su trazo, evitar las zonas en donde la construcción de los mismos puedan entrar en conflicto con las restricciones legales de uso (por ejemplo las áreas protegidas, según su categoría y zonificación), o los lugares donde la introducción del camino pueda generar conflictividad social.
2	Usar puntos topográficos de control y rasgos físicos para controlar o definir la ubicación más adecuada para el camino. Use bordes del terreno, siga por las protuberancias del terreno y evite los afloramientos de roca, las pendientes demasiado pronunciadas, los cruces de riachuelos, etc.
3	Ubicar los caminos procurando evitar los efectos adversos sobre la calidad del agua y fuera de las zonas ribereñas y de las zonas protectoras de agua, excepto en los cruces con riachuelos. Diseñe las aproximaciones a los cruces de riachuelos con la menor pendiente posible.
4	Ubicar los caminos en la parte alta de los accidentes topográficos para evitar taludes empinados interiores hacia los cañones y deje una distancia apropiada entre el camino y las corrientes de agua.
5	Ubicar los caminos en suelos con buen drenaje y en laderas donde el drenaje fluirá alejándose del camino.
6	Ubicar los caminos de modo que sigan el terreno natural, adecuándose al contorno del sitio, con pendientes ondulantes, minimizándose la necesidad de cortes y rellenos.
7	Evitar ubicaciones problemáticas, tales como manantiales, zonas inundadas, deslizamientos de tierras, laderas escarpadas, afloramientos masivos de roca, llanuras de inundación y suelos altamente erosivos.
8	Evitar terrenos muy abruptos (más de 60%) y terrenos demasiado planos en los que el drenaje resulte difícil de controlar.

5.4.2 Zonas de exclusión (listado negativo para la ubicación de caminos rurales)

Es un poco complicado definir zonas de exclusión para construcción de caminos rurales, pues es la demanda de los pobladores la que normalmente genera la construcción del mismo. Sin embargo, algunas áreas deberían ser evitadas:

- Áreas protegidas, se debe evitar la construcción e incluso la ampliación de rutas cerca de las áreas protegidas, pues dos acciones negativas se producen casi de inmediato: i) invasión y descombre de las zonas aledañas a la carretera que puede extenderse hasta los límites del área protegida y ii) facilita el acceso para cacería y talas ilegales.
- Zona de manglares, donde no solo es difícil la construcción de caminos, sino los daños ambientales son extremadamente graves.
- Cauces de ríos, muchas veces por la facilidad se decide desarrollar el camino a la par y a lo largo del cauce, e incluso dentro del cauce. Esta práctica debe ser evitada, por que limita el área de divagación del río y además de los daños por erosión que pueda tener el camino, los efectos en la hidráulica fluvial que pueden producir efectos muy negativos aguas abajo.

- Planicies de inundación en la zona costera, en estas áreas se requiere que los caminos se eleven sobre el nivel del terreno para que no queden inundados, sin embargo, excluir totalmente su construcción es difícil por las altas densidades poblacionales. Por ello si es necesario construirlos se debe incluir un gran número de drenajes en el terraplén que permitan la circulación del agua de un lado al otro del camino, para que el camino no se vuelva una presa artificial.

A. Drenaje para caminos rurales

La ubicación del camino y el drenaje de caminos, así como las zonas de construcción y otras áreas de actividad, constituyen los factores más importantes que pueden afectar la calidad del agua, la erosión y los costos de los caminos. Como parte del drenaje se incluye el control del agua superficial y el desalajo adecuado del agua bajo los caminos en los cauces naturales. Entre los aspectos relacionados con el drenaje que deben tomarse en cuenta para el diseño y construcción de caminos se incluyen los siguientes: drenaje superficial del camino; control del agua en cunetas y a las entradas y salidas de tuberías; cruces de cauces naturales y de ríos; cruces en humedales o áreas pantanosas; subdrenaje; selección y diseño de alcantarillas, cruces en estiaje, y puentes. Sin embargo tres de los aspectos más importantes del diseño de caminos son los siguientes: ¡drenaje, drenaje y drenaje!

El diseño adecuado del drenaje de caminos requiere una cuidadosa atención al detalle. Las condiciones y patrones específicos se deben analizar en cada área. En ese sentido, el funcionamiento del drenaje se debe observar principalmente durante los periodos de lluvia, para observar la forma en que se desplaza de manera natural el agua, en dónde se concentra, qué daños puede causar, y qué medidas se necesitan para evitar daños y para mantener a los sistemas de drenaje funcionando adecuadamente.

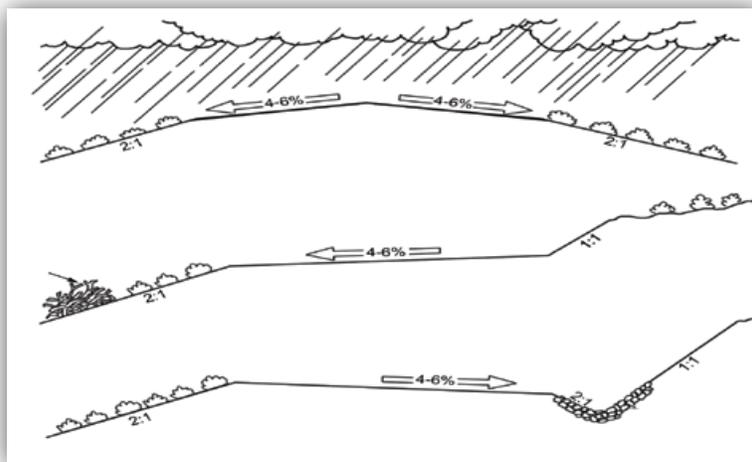
a) Control del drenaje superficial de caminos

La superficie del camino necesita diseñarse de tal forma que el agua se disperse y se desplace fuera del camino lo más rápido y frecuente que sea posible. El agua estancada en los baches, rodadas y ondulaciones puede debilitar la capa de subrasante y acelerar los daños. El agua concentrada en las rodadas o estancada en la superficie de rodadura a lo largo de tramos largos puede provocar erosión. Las pendientes fuertes del camino hacen que el agua superficial y la de las cunetas se desplacen rápidamente dificultando el control del drenaje superficial. Esta condición también acelera la erosión del suelo a menos que las superficies se protejan o que el agua se disperse o se elimine frecuentemente.

El agua superficial de la calzada en los caminos rurales debe controlarse mediante medidas de drenaje positivas usando secciones con peralte³ hacia afuera, peralte hacia adentro, o en corona del camino como se aprecia en la Figura 12.

³ Es la pendiente transversal que se da a la plataforma de una carretera, para compensar la inercia de los vehículos que la transitan. También tiene la función de evacuar aguas de la carretera, para lo cual se requiere una pendiente mínima del 0,5%.

Figura 12. Opciones típicas para drenaje de la superficie del camino



Fuente: *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Los caminos con peralte hacia afuera permiten dispersar mejor el agua, minimiza el ancho del camino, aunque tal vez necesiten superficie de rodadura y estabilización del relleno en talud. Para el caso de los caminos rurales diseñados con peralte hacia adentro, se puede controlar mejor el escurrimiento superficial del camino pero el agua se concentra y por lo tanto se requiere un sistema de cunetas, drenes transversales y un ancho adicional del camino para colocar la cuneta. Los vados ondulantes superficiales de base ancha o las alcantarillas de tubo, deben estar colocados a intervalos frecuentes a fin de eliminar toda el agua superficial sobre el camino antes de que se presente la erosión de suelo. Las distancias de estas estructuras se deben determinar en campo, ya que se basan en los flujos de agua, la intensidad de las lluvias, las características de erosión del suelo y zonas viables para descargas de agua pluvial.

Finalmente, para el caso de los caminos rurales con secciones en corona resultan adecuadas para caminos de dos carriles, más exigentes especificaciones y pendientes suaves. También requieren de un sistema de cunetas interiores y de drenes transversales. Resulta difícil crear y mantener una corona sobre un camino angosto, por lo que generalmente el drenaje con pendiente transversal hacia adentro o hacia afuera resulta más efectivo.

Los drenes transversales de alcantarilla se usan para desplazar el agua de las cunetas a través del camino. En general son el tipo más común de drenaje superficial de caminos y resultan los más adecuados para el caso de caminos de altas velocidades en los que se desea un perfil suave de la superficie del camino. Sin embargo, los tubos son costosos y las tuberías de relativo poco diámetro de las alcantarillas necesitan limpieza y son susceptibles a obstrucciones y a taponamiento.

Por otro lado, los vados ondulantes superficiales (o vados de base ancha) están diseñados para dejar pasar tránsito lento al mismo tiempo que dispersan el agua superficial (Ver Figura 13). Estos generalmente cuestan menos, implican menos mantenimiento y son menos propensos a taparse y a fallar en comparación a los tubos de alcantarilla. Los vados superficiales son ideales para caminos rurales y para velocidades de bajas a moderadas. Al igual que el anterior, La separación es función de la pendiente del camino y del tipo de suelo.

Figura 13. Vado ondulante superficial como drenaje transversal, para desalojar el agua fuera de la superficie del camino de manera eficiente y económica, sin tener que usar tubos de alcantarilla.



Fuente: *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Las pendientes fuertes de caminos no son recomendables y resultan problemáticas, pero ocasionalmente son necesarias. En pendientes de hasta 10% se facilita el uso de drenes transversales con alcantarillas o vados superficiales ondulantes. Si está entre 10 y 15%, funcionan los drenes transversales de alcantarillas frecuentemente espaciadas en combinación con cunetas revestidas. Con inclinaciones de más de 15%, resulta difícil hacer lento el flujo de agua o eliminarla rápidamente de la superficie del camino. En este caso resulta mejor usar alcantarillas de drenaje transversal muy cercana entre sí junto con cunetas revestidas y reforzar con pavimento para evitar erosión.

Para el caso de las zanjas de drenaje superficial, se emplean para controlar el drenaje en el caso de caminos cerrados o inactivos, en caminos para tracción en las cuatro ruedas, para caminos de arrastre y para senderos de arrastre. Con frecuencia se colocan las zanjas de drenaje muy cercanas entre sí para lograr el máximo control de la erosión y se pueden configurar para que circulen vehículos de rodada alta o para bloquear el tránsito.

Con base a lo anterior, a continuación se proponen las prácticas recomendadas para un efectivo control de la erosión causada por el drenaje superficial de caminos rurales:

No.	Prácticas recomendadas
1	Diseñar y construir los caminos de tal manera que puedan desalojar el agua rápidamente fuera de la superficie de rodadura, a fin de mantener drenada la superficie sin poner en riesgo su integridad.
2	Evitar caminos con pendientes muy pronunciadas que sobrepasen de entre 12 y 18%. Resulta muy difícil y costoso controlar debidamente el drenaje en pendientes muy inclinadas.
3	Mantener un drenaje superficial positivo mediante una sección con peralte hacia fuera, hacia adentro o en coronamiento, usando pendientes de 3 a 5% de inclinación.
4	Hacer que las pendientes sean ondulantes o forme ondulaciones frecuentemente en el perfil del camino para dispersar el agua, sobre todo hacia adentro o hacia afuera de cruces de ríos.
5	Usar con frecuencia cunetas de desvío para evitar la acumulación de agua en exceso en las cunetas de la calzada principal del camino.

No.	Prácticas recomendadas
6	Usar estructuras de drenaje transversal al camino (vados superficiales, alcantarillas de tubo, o alcantarillas abiertas –canales-) para desalojar el agua a través del camino desde la cuneta interior hasta el talud por debajo del camino. Colocar las estructuras de drenaje transversal muy cercanas entre sí como para eliminar toda el agua superficial.
7	Proteger las salidas de drenes transversales con piedra (empedrado de protección), maleza o madera, para disipar la energía y evitar la erosión. Localice la salida de los drenes transversales sobre suelos estables resistentes a la erosión, piedra o en zonas con abundante vegetación.
8	Construir vados ondulantes superficiales en lugar de alcantarillas de drenaje transversal, en el caso típico de caminos rurales de baja velocidad con pendientes de menos de 12%. Construir vados superficiales con suficiente profundidad para permitir un drenaje adecuado, y formando un ángulo de entre cero y 25 grados con la perpendicular al camino, con una peralte hacia afuera de 3-5%, y con suficiente longitud (15 a 60 metros) para que circulen vehículos y equipos. En el caso de suelos blandos, reforzar el promontorio y el fondo del dren con grava o con piedra, así como a la salida del mismo.
9	Instalar drenes transversales de alcantarilla con un ángulo de 0-30 grados perpendicular al camino, usando una peralte hacia afuera de 2% más alto que la pendiente de la cuneta, a fin de evitar taponamientos. Usar alcantarillas de drenaje transversal en caminos con una cuneta interior y con velocidades de recorrido moderadamente altas.
10	Construir zanjas de drenaje superficial en caminos con poco uso o en caminos cerrados para controlar los escurrimientos superficiales. Colocar las zanjas de drenaje muy cercanas entre sí formando un ángulo de entre cero y 25 grados con una peralte hacia afuera de entre 3 y 5% y una profundidad de 0.3 a 0.6 metros.
11	Usar cunetas de captación de agua (cunetas de intercepción o coronamiento) a través del terreno natural por arriba de un talud de corte, sólo en aquellas zonas con una alta precipitación pluvial y escurrimientos superficiales altos. Estas cunetas resultan útiles para captar el flujo laminar superficial antes de que derrame sobre el talud del corte y pueda erosionar o desestabilizar el corte. Sin embargo, ellos generalmente no reciben mantenimiento y pueden dar lugar a un estancamiento contraproducente de agua encima del talud, lo cual aumenta las posibilidades de una falla del talud.
12	Evitar el uso de cunetas exteriores a lo largo del borde externo del camino, excepto en zonas específicas que deben protegerse del flujo laminar para desalojarlo fuera de la superficie del camino. De preferencia use bermas (espacios planos, cornisa o montículo). Para construir una cuneta o berma exterior se necesita ampliar el ancho del camino.
13	Contar con un equipo multidisciplinarios (Ing. Civil, Ing. en Recursos Naturales, Hidrólogo, Biólogo, cuando sea necesario). Esto es importante en el monitoreo y seguimiento de actividades de control de la erosión.

De igual manera, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para reducir o minimizar los efectos de la erosión del suelo causada por el drenaje superficial en caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Pendientes fuertes sostenidas del camino sobre las que se concentran los escurrimientos.
2	Descarga de agua sobre suelos erosionables sin protección.
3	Fijar a “simple vista” las pendientes en terrenos planos. Use un clinómetro o un nivel para garantizar que usted cuenta con los taludes o pendientes adecuados.

b) Control en entradas y salidas de drenes y en cunetas transversales

El agua debe controlarse, encauzarse o disipar su energía a la entrada y a la salida de alcantarillas, vados superficiales u otro tipo de estructuras transversales de drenaje. Con esto se garantiza que el agua y los escombros entren al dren transversal eficientemente sin obstruirlo, y que salgan del dren transversal sin

dañar a la estructura y sin causar erosión a la salida. Las estructuras de entrada de alcantarillas generalmente se colocan en la línea interior de cunetas en donde se ubica un dren transversal en forma de alcantarilla. Comúnmente se construyen a base de concreto, mampostería (Figura 14), o de un tubo metálico de sección circular. Típicamente se usan donde la cuneta esté erosionando y socavando, de tal forma que la estructura controla la elevación de la cuneta. Las estructuras de entrada resultan también de utilidad para cambiar la dirección del agua que fluye hacia la cuneta, sobre todo en pendientes empiladas, y ayudan a estabilizar la margen excavada por detrás de la entrada del tubo.

La salida de los tubos y de los drenes se localiza idealmente en una zona estable de suelo no erosionable, o en un área con mucha vegetación o rocosa. Entre otras medidas de disipación de energía se incluye el uso de tanques amortiguadores, vertedores de protección reforzados, o el empleo de vegetación densa o de lecho de piedra sólida.

Figura 14. Estructuras de entrada (o boca de caída) de mampostería, concreto o metal para controlar el agua en la cuneta y encauzarla hacia el tubo de drenaje transversal y evitar la socavación de la cuneta.



Fuente: *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Con base a lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para un efectivo control de entradas y salidas de drenes en cunetas transversales para evitar la erosión causada por el drenaje superficial de caminos rurales:

No.	Prácticas recomendadas
1	Use estructuras de bocas de caída en los drenes transversales de alcantarilla cuando haga falta controlar la pendiente de la cuneta, para evitar la erosión descendente de la cuneta, o donde el espacio esté limitado con respecto al corte en las márgenes. Alternativamente use canales o zanjas de captación excavadas en suelo firme.
2	Descargue las alcantarillas y los drenes empedrados de drenaje transversal al nivel del terreno natural, sobre suelo firme no erosionable o en zonas rocosas o con matorrales. Si se descarga sobre los taludes del terraplén, proteja las salidas con corazas de piedras o piedras o con madera, o use estructuras de drenaje hacia abajo. Haga sobresalir el tubo entre 0.5 y 1.0 m con respecto al pie del talud de terraplén para evitar erosión del material de relleno.

No.	Prácticas recomendadas
3	En suelos erosionables, proteja las cunetas del camino y las cunetas de descarga con piedra, mampostería, revestimiento de concreto, o, como mínimo, con pasto. También se pueden usar las estructuras de diques de cuneta para disipar la energía y para controlar la erosión de las cunetas.
4	Descargue los drenes del camino en una zona con capacidad de infiltración o en franjas filtrantes para atrapar a los sedimentos antes de que lleguen a una vía fluvial. Mantenga “desconectados” hidrológicamente al camino con respecto a los ríos.

De igual manera, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para un adecuado control de entradas y salidas de drenes en cunetas transversales y reducir o minimizar los efectos de la erosión del suelo causada por el drenaje superficial en caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Descargar un tubo de drenaje transversal o dren empedrado en algún talud de terraplén desprotegido o en suelo desnudo susceptible a la erosión.
2	Descargar los tubos de drenaje transversal a media altura del talud del terraplén.
3	Descargar los tubos de drenaje transversal o los drenes empedrados sobre laderas naturales inestables.

i. Uso de enrocamiento de protección

Las altas velocidades del flujo en canales o a lo largo de las márgenes de arroyos locales con frecuencia producen erosión, socavación o la formación de quebrada en las márgenes. La socavación puede erosionar la base de puentes y alcantarillas y producir la falla de estas estructuras. Generalmente se usa enrocamiento o grandes piedras para proteger las márgenes del arroyo y las estructuras contra la socavación. Se puede usar roca junto con vegetación o con otras medidas tales como tocones, gaviones o dentellones para proporcionar protección a las márgenes. El tamaño de la roca, así como la aplicación de otras medidas, comúnmente se determina en función de la velocidad del flujo y de las condiciones locales del cauce.

En la Figura 15 se presenta una imagen que muestra un caso en el que el enrocamiento es usado para proteger los márgenes de un riachuelo contra la socavación, en combinación con el empleo de árboles para aumentar la resistencia biotécnica.

Figura 15. Protección de márgenes de río empleando enrocamiento



Estructuras para evitar el socavado de las márgenes de los ríos y en la entrada de las estructuras de drenaje. Izquierda: márgenes del río Los Esclavos, Santa Rosa, Derecha: Puente Cabuz II, San Marcos.

Fuente: Consecuencias de la tormenta Stan en la Infraestructura Vial de Guatemala y la Estrategia de Reconstrucción Nacional, CIV, 2006.

Idealmente, el enrocamiento de protección debería colocarse sobre una cimentación estable y encima de una capa de filtro constituida ya sea por arena gruesa, grava o un geotextil. El enrocamiento en sí deberá estar graduado para tener una gama de tamaños que permita minimizar los agujeros y formar una capa compacta. El enrocamiento debería colocarse en una capa con un espesor que sea cuando menos igual a 1,5 veces el tamaño (diámetro) de la roca de mayor tamaño especificado, estando la zona más gruesa en la base de la roca. En el cauce de un riachuelo, la capa de enrocamiento de protección deberá cubrir completamente los lados mojados del canal, con un cierto bordo libre, y deberá colocarse hasta una profundidad igual o mayor que la profundidad de la socavación esperada.

ii. Filtros

Un filtro funciona como una capa de transición entre una estructura, como puede ser el enrocamiento de protección, y el suelo subyacente. Su finalidad es: 1) evitar el movimiento del suelo detrás del enrocamiento de protección o de los gaviones, o hacia el subdrenaje; y 2) permitir que el agua subterránea drene del suelo sin que se generen presiones de poro.

Con los criterios específicos para filtros, documentados en otras referencias, se establecerá el tamaño de partículas y las relaciones granulométricas necesarias entre el suelo fino local, un material de filtro y roca gruesa como puede ser la roca drenante o el enrocamiento de protección. Existen además requisitos específicos para el uso de geotextiles como filtros.

Tradicionalmente, se ha usado arena gruesa o grava bien graduada con drenaje libre como material de filtro. Una capa de filtro de arena o de grava tiene comúnmente entre 15 y 30 cm de espesor. En algunas aplicaciones entre suelo fino y fragmentos grandes de roca, se podrán necesitar dos capas de filtro.

En la actualidad los geotextiles son de uso común para proporcionar zonas de filtro entre materiales de diferentes tamaños y granulometrías debido a que resultan económicos, son fáciles de instalar, y se comportan bien dentro de una amplia variedad de suelos.

No.	Prácticas recomendadas
1	Determinar las velocidades en el cauce del arroyo para analizar el potencial de socavación, las necesidades de protección de las estructuras y los impactos sobre la vida acuática.
2	Usar enrocamiento bien graduado, duro, angular, y con los tamaños adecuados donde se necesite protección contra la socavación.
3	Usar arena limpia, grava limpia bien graduada con tamaños de 0,5 a 1 cm, o un geotextil como filtro entre suelos finos erosionables y una roca permeable gruesa o enrocamiento de protección.
4	El tamaño y el peso de la roca a utilizar deben calcularse en función de la velocidad promedio del flujo de agua.
5	Usar medidas contra la socavación para proteger a las estructuras, para evitar la falla de las mismas y para evitar impactos adversos a los riachuelos.
6	Es común el uso de enrocamiento de protección en zonas de alta velocidad o en otras áreas críticas. También se puede usar vegetación, tocones, troncos o espolones para la estabilización de las márgenes de un riachuelo.
7	Poner especial atención a los detalles de diseño donde sea necesario colocar protección de roca y filtros.
8	Usar geotextiles en aplicaciones para caminos y para obras hidráulicas a fin de proporcionar un filtro por detrás del enrocamiento de protección o alrededor de un subdrene. Use materiales geosintéticos en otras aplicaciones, tales como separación y refuerzo, en aquellos casos en los que sean costo-efectivos y prácticos.

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Instalación de estructuras sin tomar debidamente en cuenta las velocidades esperadas del flujo y los tamaños adecuados de los fragmentos de roca, para protección de las márgenes.
2	Instalación de medidas para drenaje subterráneo, tales como subdrenes, sin protección con filtros (geotextiles, arena o grava del tamaño adecuado).

c) Cruce de caminos en cauces naturales

Los cruces de caminos sobre cauces de drenaje naturales o ríos requieren de conocimientos hidrológicos e hidráulicos para su diseño, a fin de poder determinar el tamaño adecuado y el tipo de estructura. La selección de la estructura incluye por lo general tubos de alcantarilla, alcantarillas en arco o de cajón, vados para caudales en estiaje, o puentes.

Debido a que los cruces de drenaje se ubican en zonas de agua en movimiento, su construcción puede resultar costosa y pueden tener impactos negativos importantes sobre la calidad del agua. Entre los impactos de un diseño inadecuado se tiene como la principal, la degradación de la calidad del agua, erosión de márgenes, socavación del cauce, bancos de arena por azolvamientos que alteran el curso de los ríos, etc.

En el caso de estructuras, éstas pueden afectar la dinámica de la biodiversidad acuática. Los cruces de los ríos deben ser tan cortos como sea posible y perpendicularmente al cauce. Las cunetas deben desviar el agua superficial antes de que llegue al cauce del río, y la construcción deberá minimizar la zona de intervención. En cuencas de captación particularmente sensibles y con valores inciertos del caudal, es muy aconsejable la protección contra desbordamiento, principalmente con ayuda de un vertedor revestido para mantener el flujo de agua estable.

La Figura 16 muestra un ejemplo de construcción de estructuras de drenaje en puntos críticos.

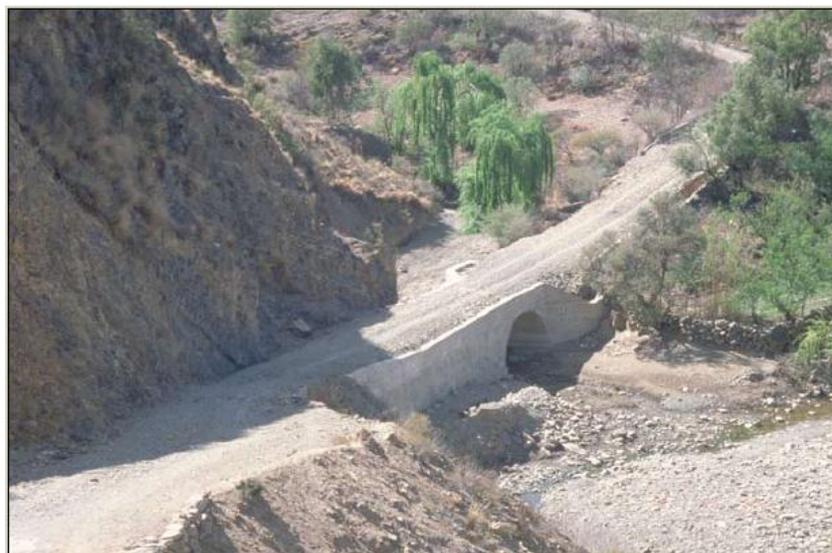
Con base a lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para obras efectivas en el cruce de caminos rurales sobre cauces naturales y evitar la erosión y contaminación por sedimentos:

No.	Prácticas recomendadas
1	Usar estructuras de drenaje que mejor se adapten a la configuración del cauce natural y que idealmente sean tan anchas como el canal activo del río (ancho con el caudal máximo). Minimizar los cambios en el cauce natural y el volumen de excavación o de relleno en el canal.
2	Limitar las actividades de construcción a periodos de bajo caudal en ríos perennes. Minimizar el uso de equipos dentro del río.
3	Diseñar estructuras y usar procedimientos de construcción que minimicen los impactos sobre los peces y otras especies acuáticas, o que puedan mejorar el paso de peces.
4	Cruzar canales de drenaje lo menos posible. En caso necesario, cruzar los ríos en ángulo recto, excepto donde no lo permitan las condiciones del terreno.
5	Mantener los accesos a cruces de ríos con una pendiente lo más suave posible en la práctica. Hacer que las pendientes sean ondulantes al llegar y al alejarse de los cruces a fin de dispersar el agua.
6	Estabilizar el suelo alterado alrededor de los cruces tan pronto termine la construcción. Retirar o proteger el material de relleno colocado dentro del cauce y en el área de inundación.
7	Usar puentes, vados para caudales en estiaje o vados mejorados, así como grandes tubos en arco con el fondo natural del río siempre que sea posible para maximizar la capacidad de flujo, minimizar la posibilidad de una tubería tapada, o minimizar los impactos sobre especies acuáticas.
8	Ubicar los cruces donde el alineamiento del río sea recto, estable y no cambie su geometría. Los lugares subyacidos por piedra son recomendables para estructuras de concreto.
9	Para la protección por desbordamiento, construir los rellenos sobre alcantarillas con un punto bajo protegido cercano a la tubería en el caso de rellenos de baja altura, o agregar un vado superficial revestido sobre el terreno natural justamente al terminar un relleno grande para regresar el agua al drenaje y evitar la falla fuera del sitio.
10	Estabilizar los accesos del camino a cruces de puentes, vados o alcantarillas con piedra, priedrín u otro tipo de material adecuado a fin de evitar en lo posible que los sedimentos sobre la superficie del camino lleguen al río. Instalar drenes transversales a ambos lados de un cruce para evitar que los escurrimientos sobre el camino y a lo largo de la cuneta descarguen en el canal de drenaje.
11	Construir los rellenos para puentes y para alcantarillas más altos que el acceso del camino para evitar que el escurrimiento de la superficie del camino drene directamente en el río. Típicamente el cruce debería diseñarse para minimizar el volumen de relleno.

De igual manera, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para realizar obras efectivas en el cruce de caminos rurales sobre cauces naturales y evitar la erosión y contaminación por sedimentos:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Trabajar con equipos o maquinaria en el cauce natural desprotegido.
2	Localizar los cruces de ríos en canales sinuosos o inestables.
3	Afectar de manera negativa la vida de los peces con una estructura de cruce de ríos.
4	Permitir que el escurrimiento de cunetas a los lados del camino descargue directamente en los ríos.

Figura 16. Ejemplo de construcción de estructuras de drenaje en puntos críticos



Un cruce de drenaje puede ser un punto crítico y vulnerable en el camino, si la estructura de drenaje falla. Por esto, las estructuras deben diseñarse para que pase el caudal de la tormenta apropiada, mas los escombros, o para sobrevivir a un desbordamiento.

Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales (Keller & Sherar, 2008).

d) Cruce de caminos rurales en zonas inundadas o llanuras, uso de subdrenaje

Los cruces de caminos en zonas de humedales, incluyendo llanuras inundadas, pantanos, zonas con altos niveles freáticos, y fuentes de manantiales son problemáticos y poco recomendables. Los humedales son ecológicamente zonas valiosas por su riqueza en su biodiversidad, y resulta difícil construir sobre ellas. Los suelos en estas áreas son generalmente débiles y se necesita un refuerzo considerable de la subrasante. Las medidas de drenaje resultan costosas y pueden tener una eficiencia limitada. En conclusión: “se deberían evitar las zonas inundadas”.

Sin embargo, si se tienen que cruzar humedales y no se pueden evitar, entonces se deberán utilizar métodos especiales de drenaje o de construcción para reducir los impactos al ecosistema originados por el cruce. Entre ellos se incluyen la instalación de tuberías múltiples de drenaje o piedra gruesa permeable para dispersar el flujo, reforzar la subrasante con piedra gruesa permeable, controlar la pendiente y el uso de capas de filtro y geotextiles. En un diseño típico de subdrenaje se usa una zanja de intercepción de entre 1 y 2 metros de profundidad, rellena con piedra permeable.

Con base a lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para obras efectivas en el cruce de caminos rurales en zonas inundadas, humedales o llanuras y evitar impactos negativos en el ecosistemas y la biodiversidad:

No.	Prácticas recomendadas
1	Para el caso de cruces permanentes de zonas inundadas o humedales, mantenga los patrones naturales de flujo del agua subterránea mediante el uso de tuberías múltiples colocadas al nivel del pastizal para diseminar cualquier escurrimiento superficial. Alternativamente, se puede usar un relleno permeable de piedra donde el escurrimiento superficial sea mínimo.
2	En zonas con lugares puntuales húmedos y tránsito limitado sobre el camino, refuerce la calzada con

No.	Prácticas recomendadas
	una capa de piedra bien graduada o de suelo granular muy grueso de por lo menos 10 a 30 cm de espesor.
3	Para cruce temporal de drenajes inundados pequeños o de pantanos, construya un “camino de troncos” mediante capas de troncos colocados perpendicularmente al camino y cubiertos con una superficie de rodadura de suelo o pedrín. También se han usado tubos de PVC, tabloncillos de madera, llantas y otros materiales.
4	Coloque una capa de geotextil entre el suelo saturado y los troncos o cualquier otro material usado para proporcionar apoyo adicional y para separar a los materiales.
5	En zonas con manantiales use obras de drenaje tales como subdrenes o capas de filtro permeables para eliminar el agua subterránea y para mantener seca la subrasante del camino.
6	Use subdrenes en el respaldo de estructuras de retención para evitar la saturación del relleno. Emplee subdrenes subterráneos o capas de filtro permeables por debajo de rellenos (terraplenes) colocados sobre humedales a fin de aislar el material de relleno y evitar la saturación y la potencial falla subsecuente del relleno.

De igual manera, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas y biodiversidad en zonas de humedales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Cruce innecesario de zonas inundadas o áreas de ciénegas.
2	Concentrar el flujo de agua en zonas inundables o cambiar los patrones naturales de flujo del agua superficial y subterránea.
3	Colocar alcantarillas por debajo de la elevación de la superficie del humedal.

e) Vados o cruces en estiaje

Estas estructuras pueden ofrecer una alternativa satisfactoria al uso de alcantarillas y de puentes para el cruce de ríos o riachuelos en caminos de bajo volumen de tránsito, en los que el uso de la vía y las condiciones de flujo del río sean las adecuadas. Al igual que en el caso de otras estructuras hidráulicas usadas para cruzar ríos o riachuelos, para los vados se necesitan conocer las características específicas del lugar y realizar análisis particulares hidrológicos, hidráulicos y bióticos. Idealmente se deben construir en lugares estrechos a lo largo del río y no debe usarse en drenajes de gran profundidad.

Los cruces en estiaje pueden tener como superficie de rodadura una simple capa de piedras de protección o contar con una superficie mejorada formada por gaviones o por una losa de concreto (Ver Figura 17).

Figura 17. Con vados o cruces en estiaje, el borde aguas debajo de la estructura debe generalmente protegerse contra la socavación, mientras que todo el perímetro mojado (al nivel de aguas máximas) del camino debe reforzarse.



Fuente: *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Entre los factores clave que se deben tomar en cuenta para el diseño y ubicación de un vado, se incluyen los siguientes: niveles mínimos y máximos de agua de diseño; condiciones de la cimentación, potencial de socavación; retrasos permitidos en el tránsito; geometría de la sección transversal del cauce y confinamiento; protección del borde aguas abajo de la estructura contra socavación local; estabilidad del cauce y de las márgenes del río; materiales de construcción disponibles localmente; y control de la pendiente para la migración de peces.

A continuación se describen las ventajas y desventajas de los vados, badenes o cruces en estiaje para la construcción de caminos rurales:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">▪ La ventaja principal es que un vado no es generalmente susceptible a obstruirse con escombros o con vegetación como sucede en el caso de una alcantarilla de tubo que puede llegar a taparse.▪ En general, los vados son estructuras menos costosas que las alcantarillas grandes o los puentes. Pueden resultar inicialmente más costosos que las alcantarillas, pero se necesitará menos relleno en el cauce y pueden dejar pasar un mayor caudal.	<ul style="list-style-type: none">▪ Las estructuras tipo vado implican ciertos retrasos periódicos u ocasionales en el tránsito durante periodos de alto caudal.▪ La configuración no se adapta fácilmente a desagües o ríos profundos en el terreno para los cuales se necesitarían rellenos de gran altura.▪ Debido a que la geometría de la estructura implica una depresión en la superficie y retrasos periódicos, en general no son recomendables para caminos de mucho tránsito ni de alta velocidad.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los vados con alcantarillas se pueden usar para desalojar flujos en estiaje y para mantener a los vehículos fuera del agua, evitando la degradación de la calidad del agua. ▪ La estructura se puede diseñar como una moldura de cresta ancha que puede dejar pasar un gran caudal de agua sobre la parte superior del vado. No es muy sensible a caudales específicos debido a que un pequeño aumento en el tirante de agua incrementa de manera importante la capacidad. Los vados pueden ser más “indulgentes” y pueden permitir más incertidumbres en el caudal de diseño, por lo que son ideales como obras de drenaje con características desconocidas de flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La migración de peces puede ser una característica difícil de incorporar en el diseño. ▪ Los vados con alcantarillas pueden represar los arrastres en el cauce de un río y ocasionar la obstrucción de la alcantarilla, lo cual implica mantenimiento y origina otros ajustes en el cauce. ▪ El cruce de la estructura puede ser peligroso durante periodos de gran caudal.

Con base a lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para el diseño y elaboración de obras efectivas para el cruce de caminos rurales con vados o badenes y de esa manera evitar impactos negativos en el ecosistemas, la biodiversidad y el suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	Usar una estructura o una losa suficientemente larga para proteger el “perímetro mojado” del cauce natural del río. Agregar protección por arriba del nivel esperado de aguas máximas. Permitir un cierto borde libre, típicamente de entre 0.3 y 0.5 metros en la elevación, entre la parte superior de la superficie reforzada de rodadura (losa) y el nivel de aguas máximas esperado.
2	Proteger toda la estructura con pantallas impermeables, empedrados, gaviones, losas de concreto, u otro tipo de protección contra la socavación. El borde aguas abajo de un vado es un punto particularmente crítico para efectos de socavación y necesita disipadores de energía o piedras de protección, debido al abatimiento típico del nivel del agua al salir de la estructura y a la aceleración del flujo a través de la losa.
3	Para el caso de vados simples de piedra, usar grandes fragmentos bien graduados en la base del camino, através de la hondonada, que tengan la resistencia suficiente para resistir el flujo del agua. Rellenar los vacíos o agujeros con fragmentos pequeños de piedra limpia o con piedrin para proporcionar una superficie de rodadura tersa. A estas piedras pequeñas se les deberá dar mantenimiento periódico y se reemplazarán eventualmente.
4	Usar vados para el cruce de cauces secos en temporadas o de ríos con caudales pequeños durante la mayoría de los periodos de uso del camino. Emplear vados mejorados (con alcantarillas) con tubos o cajones de concreto para alcantarillas a fin de dejar pasar caudales en estiaje. Acomodar pasos para peces donde se necesiten, usando alcantarillas de cajón con un fondo del canal con flujo natural.
5	Ubicar los vados donde las márgenes del río sean bajas y donde el cauce esté bien confinado. En el caso de desagües de profundidad moderada, usar vados mejorados con alcantarillas de tubo o de cajón.
6	Idealmente construir las cimentaciones sobre material resistente a la socavación (piedra gruesa) o por debajo de la profundidad esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante el uso de empedrado pesado colocado localmente, jaulas de gaviones, refuerzo de concreto, o de vegetación densa.
7	Usar marcadores de profundidad resistentes y bien colocados en los vados para advertir al tránsito de alturas peligrosas del agua.

De igual manera, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” al diseñar vados o badenes para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y suelo en la construcción de caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Construcción de curvas verticales pronunciadas en vados en las que puedan quedar atrapados camiones largos o remolques.
2	Colocación de material de relleno para accesos dentro del canal de desagüe.
3	Cruzando vados durante el nivel de aguas máximas.
4	Colocación de cruces en estiaje sobre depósitos de suelos de grano fino susceptibles a la socavación, o adopción de diseños que no prevean protección contra la socavación.
5	Construcción de vados que bloqueen el paso de peces tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo.

f) Puentes

Estas estructuras resultan relativamente costosas, pero con frecuencia representan la estructura de cruce de ríos más recomendable, debido a que se puede construir fuera del cauce del río y con ello se minimizan los cambios al canal natural del cauce, la excavación o la colocación de rellenos en el cauce natural. Con ellos se minimiza la alteración del fondo natural del río y no implica retrasos en el tránsito una vez construidos. Resultan ideales para la migración de peces. Sin embargo, para el diseño y construcción de puentes, es necesario tomar en cuenta aspectos detallados del lugar y hacer un análisis hidráulico específico y diseño estructural.

Siempre que sea posible, se debe construir el puente en un punto donde se estreche la sección transversal del cauce y debería ubicarse en una zona subyacente por suelo grueso o empedrado. Los puentes se deben diseñar de tal forma que tengan la capacidad estructural adecuada para soportar el vehículo más pesado previsto. Son preferibles las estructuras de concreto porque pueden ser relativamente simples y baratas, requieren de un mantenimiento mínimo, y tienen una vida útil relativamente larga (100 años) en la mayoría de los ambientes.

Para las cimentaciones profundas de puentes, con frecuencia se usan pilas excavadas en el lugar o pilotes. La mayoría de las fallas en los puentes ocurren ya sea debido a insuficiente capacidad hidráulica (demasiado pequeñas) o a la socavación y erosión de una cimentación colocada sobre suelos finos.

Entre los aspectos típicos del mantenimiento de puentes se incluye la limpieza de la cubierta y de los “asientos” de las vigas; el chapeo de la vegetación y la eliminación de residuos del cauce del río; la sustitución de señales visuales; la reparación de obras de protección de las márgenes del río; el tratamiento y revisión de la madera seca; sustitución de tuercas y tornillos faltantes; y repintado de la estructura.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para el diseño y elaboración de puentes en caminos rurales para evitar impactos negativos en los ecosistemas, la biodiversidad y el suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	La ubicación del puente y sus dimensiones las deberían determinar idealmente un ingeniero, un hidrólogo y un biólogo de pesca.
2	Usar un claro de puente suficientemente largo o una estructura de longitud adecuada para evitar

No.	Prácticas recomendadas
	estrangular el cauce natural de flujo del río. Minimizar la constricción o estrangulamiento de cualquier canal de desbordamiento.
3	Proteger los accesos de aguas arriba y de aguas abajo a las estructuras mediante muros como aleros, empedrados, gaviones, vegetación u otro tipo de protección de taludes donde sea necesario.
4	Colocar las cimentaciones sobre materiales no susceptibles a la socavación (idealmente piedra gruesa) o por debajo de la profundidad máxima esperada de socavación. Evitar la socavación de la cimentación o del cauce mediante la colocación local de empedrado de protección pesado, de jaulas de gaviones, o de refuerzo de concreto. Recurrir a la protección contra socavación siempre que sea necesaria.
5	Ubicar los puentes donde el canal del río sea estrecho, recto y uniforme. Evitar colocar los estribos dentro de la cuenca activa del río. Donde sea necesario, colocar los estribos dentro de la cuenca en una dirección paralela al flujo del agua.
6	Considerar los ajustes al cauce natural y posibles cambios en la ubicación del canal durante la vida útil de la estructura. Los canales que son sinuosos, que tienen recodos o que cuentan con extensas llanuras de inundación pueden cambiar de lugar dentro de esa zona de flujo histórico como resultado de un evento importante de tormenta.
7	En el caso de estribos de puente o de zapatas colocadas sobre laderas naturales, sacar la estructura en terreno natural firme (no en material de relleno ni en suelo suelto) a una profundidad mínima comprendida entre 0.5 y 2.0 metros. Usar estructuras de retención en caso necesario en desagües profundos y escarpados para sostener los rellenos de acceso, o use un puente con claro relativamente largo.
8	Diseñar los puentes para un evento de 50 a 100 años de periodo de retorno. Para las estructuras costosas y en aquellas cuya falla puede causar daños importantes mayores, se justifica la realización de diseños conservadores.
9	Permitir un cierto bordo libre, generalmente de al menos 0.5 a 1.0 metro, entre la parte inferior de las vigas del puente y el nivel de aguas máximas esperado con escombros flotantes. Las estructuras en un ambiente tropical con precipitaciones pluviales muy intensas pueden requerir un bordo libre adicional. Alternativamente, se puede diseñar un puente para que el agua pase sobre él, de la misma manera que un vado en estiaje, y así eliminar la necesidad de bordo libre, pero esto aumenta la necesidad de tener una cubierta resistente a la erosión, así como losas de aproximación.
10	Llevar a cabo inspecciones del puente cada dos a cuatro años. Programe el mantenimiento del puente a medida que se necesite para alargar la vida útil y la función de la estructura.

Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” al diseñar puentes para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y suelo en la construcción de caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Colocación de pilas o de zapatas dentro del cauce activo del río o la mitad del canal.
2	Colocación de material de relleno para accesos dentro del canal de desagüe.
3	Colocación de cimentaciones estructurales sobre depósitos de suelos susceptibles a la socavación tales como limos y arenas finas.
4	Reducción del ancho del cauce natural del río, para reducir los costos del puente.

i. Reconstrucción de puentes y estructuras de drenaje afectadas por eventos extremos

Cuando determinada obra de infraestructura como puentes y estructuras de drenaje ha sido destruida como consecuencia del impacto de un evento hidrometeorológico extremo, se hace necesario planificar su rehabilitación, reconstrucción o reposición, dependiendo de la extensión de los daños sufridos. Como parte de este proceso de planificación, es indispensable emprender acciones que tengan por objeto, por un lado, evitar la reconstrucción de las condiciones de vulnerabilidad preexistentes y, por otro, mitigar los posibles daños de futuros eventos naturales extremos mediante la gestión o manejo del riesgo.

Para lograr esto, es necesario que se reevalúe el diseño de las estructuras originales y considerar las nuevas condiciones hidrológicas del área (incluyendo las proyecciones asociadas al cambio climático), todo esto con la finalidad de estimar las características de drenaje de las obras a reconstruir. .

Como ejemplo de este proceso, se presenta un caso ubicado en Santa María de Jesús, Quetzaltenango. En este sitio, previo a la ocurrencia de la tormenta tropical Stan (2005), la estructura de descarga (drenaje) estaba compuesta por una tubería transversal de acero con un diámetro de 96". Con la ocurrencia de la tormenta, los caudales en el sitio superaron la capacidad de la tubería, ocasionando el colapso del sitio, con el consecuente daño grave a la carretera (ver Figura 18).

Figura 18. Área de drenaje colapsada como consecuencia de la tormenta tropical Stan



Fuente: *Consecuencias de la tormenta Stan en la Infraestructura Vial de Guatemala y la Estrategia de Reconstrucción Nacional, CIV, 2006.*

ii. Aspectos hidrológicos e hidráulicos considerados en el diseño de la nueva obra

Como se mencionara anteriormente, la tubería de drenaje original tenía un diámetro de 96", lo cual permitía un área hidráulica de descarga aproximada de 5 metros cuadrados, lo que resultó insuficiente ante eventos de precipitación extrema como la tormenta Stan. Para solventar esta situación y aumentar la resiliencia de la nueva obra ante futuros eventos extremos, se decidió sustituir la estructura, de una

tubería de drenaje a un puente que cubre una longitud total de 60.00 metros, con una luz principal de 50.00 metros y estribos de entrada con una altura de 8.00 metros y el estribo de salida con una altura de 11.00 metros. Este nuevo diseño permitió aumentar el área de descarga hidráulica a más de 125.00 metros cuadrados; lo cual significa un área de descarga actual de más de 25 veces la anterior (Ver Figura 19).

Evidentemente, el costo de esta obra (puente) supera en varias veces el costo de la obra de drenaje original (tubería). Sin embargo, esta diferencia de costo se justifica en el sentido de que según las estimaciones hidrológicas realizadas, la nueva estructura será capaz de drenar las aguas vertidas por eventos extremos de intensidad mayor a los que se tienen registrados, garantizando la longevidad de la obra, y más importante, que la vía permanecerá en servicio durante toda la duración de su vida útil y no requerirá de inversiones posteriores en reconstrucción.

Figura 19. Puente Santa María de Jesús, Quetzaltenango



Fuente: *Consecuencias de la tormenta Stan en la Infraestructura Vial de Guatemala y la Estrategia de Reconstrucción Nacional*, CIV, 2006.

B. Protección contra la erosión

El control de la erosión es una de las mejores y de las más económicas medidas para proteger los caminos rurales y el medio ambiente; además, es una medida fundamental para la protección de la calidad del agua. Las prácticas de estabilización de suelos y de control de la erosión son necesarias y se deben usar en zonas donde el suelo esté expuesto y la vegetación natural resulte inadecuada. El terreno desgastado por la erosión debería cubrirse, típicamente con tipos de pastos agresivos y con arbustos de crecimiento rápido u otro tipo de cubierta vegetal. Esto ayudará a prevenir la erosión hídrica y eólica, así como el arrastre de sedimentos hacia los ríos, lagos y humedales. Este desplazamiento de los sedimentos puede ocurrir durante la construcción del camino y después de ésta, posterior al mantenimiento de la vía, mientras el camino está en uso, es decir, está activo.

a) Estabilización de taludes, cortes y rellenos

Los objetivos de los cortes y rellenos comunes en caminos son: 1) crear espacio para el camino; 2) para balancear las cantidades de materiales de corte y de relleno; 3) permanecer estables con el paso del tiempo; 4) no ser causa de la formación de sedimentos; y 5) minimizar los costos a largo plazo. Por lo regular, los deslizamientos de tierra y las fallas en los cortes y rellenos de caminos rurales pueden ser la fuente principal de la formación de sedimentos, pueden causar el cierre del camino, pueden requerir reparaciones mayores, y pueden aumentar en gran medida los costos de mantenimiento del camino.

No se deben dejar cortes con taludes verticales a menos que el corte sea en piedra o en un suelo muy cementado. Los cortes en talud estables a largo plazo en la mayor parte de los suelos y de las zonas geográficas tienen una inclinación típica de 1:1 o de 3/4:1 (horizontal: vertical), permitiendo actividades de reforestación sobre ellos para reducir la erosión hídrica o eólica, pero en suelos compactos y estériles o materiales rocosos son difíciles de realizar estas actividades. En el Cuadro 13 se presentan datos de relaciones de taludes dependiendo las condiciones del suelo.

Cuadro 13. Relaciones comunes de taludes estables, para diferentes condiciones de suelo/piedra

Condición Suelo/Piedra	Relación de talud (Hor : Vert)
La mayoría de las piedras	1/4:1 a 1/2:1
Suelos muy cementados	1/4:1 a 1/2:1
La mayoría de los suelos locales	3/4:1 a 1:1
Piedra muy fracturada	1:1 a 1 1/2:1
Suelos granulares gruesos sueltos	1 1/2:1
Suelos muy arcillosos	2:1 a 3:1
Zonas blandas con abundantes arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	2:1 a 3:1
Rellenos de la mayoría de los suelos	1 1/2:1 a 2:1
Rellenos de piedra dura angular	1 1/3:1
Cortes y rellenos de baja altura (<2-3 m de altura)	2:1 o más tendidos (para reforestación)

Fuente: Elaboración propia.

Las fallas de talud, o deslizamientos de tierra, suceden generalmente cuando un talud está demasiado inclinado, donde el material de relleno no está compactado, o donde los cortes en suelos naturales del lugar alcanzan el agua subterránea o penetran en zonas de material pobre.

Las fallas de talud, o deslizamientos de tierra, suceden generalmente cuando un talud está demasiado inclinado, donde el material de relleno no está compactado, o donde los cortes en suelos naturales del lugar alcanzan el agua subterránea o penetran en zonas de material pobre.

A continuación se presenta una gama de opciones típicas para estabilización de taludes adecuadas para el caso de caminos rurales de bajo volumen de tránsito, las cuales se presentan en términos generales desde las más sencillas hasta las más complejas y costosas, a saber:

- a. Retire el material del deslizamiento.
- b. Despeje el deslizamiento con rampas o realinee el camino alrededor de la falla.
- c. Reforeste el talud y agregue estabilización en forma puntual.
- d. Tierra o reconstruya el talud.
- e. Suba o baje el nivel del camino para apuntalar el corte o retire peso del deslizamiento, respectivamente.
- f. Reubique el camino a un sitio estable.
- g. Instale drenaje en el talud, tal como zanjas impermeables o drenes horizontales
- h. Diseñe y construya contrafuertes o estribos o vigas exteriores, estructuras de contención o anclajes en piedra.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para el diseño, elaboración y estabilización de taludes, cortes y rellenos en caminos rurales para evitar impactos negativos en el ecosistemas, la biodiversidad y principalmente en el suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	La ubicación de taludes, cortes y rellenos las deberán determinar idealmente un ingeniero, un hidrólogo y un biólogo o ingeniero en recursos naturales, como equipo multidisciplinario.
2	Usar construcción balanceada de corte y relleno en la mayoría de los terrenos para minimizar los movimientos de tierra.
3	Usar un sistema constructivo con cortes en balcón en terrenos inclinados (más de 60%). Considerar la construcción de un camino angosto de un solo carril con áreas de paso, para minimizar la excavación.
4	Construir taludes en corte en la mayor parte de los suelos usando una relación de talud en corte de 3/4:1 a 1:1 (horizontal a vertical). Dejar taludes en corte más tendidos en suelos granulares gruesos y en suelos no consolidados, en zonas húmedas y en suelos blandos o muy arcillosos. Usar taludes en corte relativamente planos (2:1 o más tendidos) en cortes de baja altura (<2-3 metros de alto), para ayudar a promover el crecimiento de la vegetación.
5	Construir taludes en cortes rocosos usando una relación de talud en corte de 1/4:1 a 1/2:1
6	Usar cortes casi verticales (1/4:1 o más inclinados) únicamente en piedra estable o en suelos muy compactados, tales como ceniza volcánica compactada o suelo de granito intemperizado en el lugar, donde el riesgo de erosión superficial o de desmoronamiento continuo de un corte relativamente plano, sea grande y el riesgo de fallas locales en el corte empinado sea bajo.
7	Donde se cuente con casos reales de larga duración, aplicar la experiencia local, así como pruebas y análisis ideales de materiales, para determinar el ángulo estable de corte para un tipo de suelo en particular.

No.	Prácticas recomendadas
8	Conducir el agua superficial (escurrimiento) hacia afuera de los taludes de cortes y terraplenes.
9	Colocar el desperdicio de madera de la construcción y piedras a lo largo del pie de taludes de terraplenes. ¡No entierre el desperdicio en el terraplén!
10	Deshacerse del material de excavación sobrante o no adecuado en lugares que no vayan a causar la degradación de la calidad del agua ni otros daños a los recursos naturales.
11	Construir rellenos con una relación de talud de terraplén de 1-1/2:1 (horizontal a vertical) o más tendido. En la mayoría de los suelos un talud de terraplén de 2:1 o más tendido promoverá el crecimiento de vegetación. En suelos tropicales con alto contenido de arcilla dentro de zonas muy lluviosas, un talud de terraplén de 3:1 es recomendable.
12	Compactar los taludes de terraplén en zonas sensibles o donde el relleno se construya con suelos erosionables o de mala calidad. Usar procedimientos específicos de construcción tales como aplanar con rodillos, colocación del relleno en capas (de 15 a 30 cm de espesor), o uso de equipos de compactación específicos cuando estén disponibles.
13	Retirar el material orgánico superficial, colocar una terraza al pie, y construir terrazas en la superficie del terreno natural cuando las laderas tengan una inclinación de entre 40 y 60% antes de proceder a colocar el relleno sobre el suelo original, con el fin de evitar una falla tipo “relleno de hendiduras” en el contacto entre el suelo nativo y el relleno. Si llegara a ocurrir una falla del relleno en un talud escarpado, se necesitará para las reparaciones una estructura de contención o un relleno reforzado.
14	Considerar la utilización de rellenos reforzados cuando un talud de terraplén de 1:1 se adapte al terreno natural estable. Usar rellenos reforzados como una alternativa de bajo costo en comparación con las estructuras de retención.
15	Aplicar medidas físicas y biotécnicas de estabilización de taludes tales como estructuras de contención, contrafuertes o estribos o vigas de soporte, capas de maleza y drenaje, en caso necesario para lograr taludes estables. Las estructuras de contención pueden estar formadas por piedras sueltas, gaviones, concreto reforzado, pilotes, tablas, estacados, clavos de suelo o muros de tierra estabilizada mecánicamente, con una gran variedad de revestimientos como geotextiles, malla de alambre soldado, madera, bloques de concreto o llantas. El relleno en el respaldo del muro se compacta generalmente al 95% del peso volumétrico máximo de la norma AASHTO T-99.
16	Use estructuras de retención para ganar ancho del camino en terrenos empinados.
17	Colocar las estructuras de retención únicamente sobre buenos materiales de construcción, como puede ser piedra firme o suelos firmes locales.

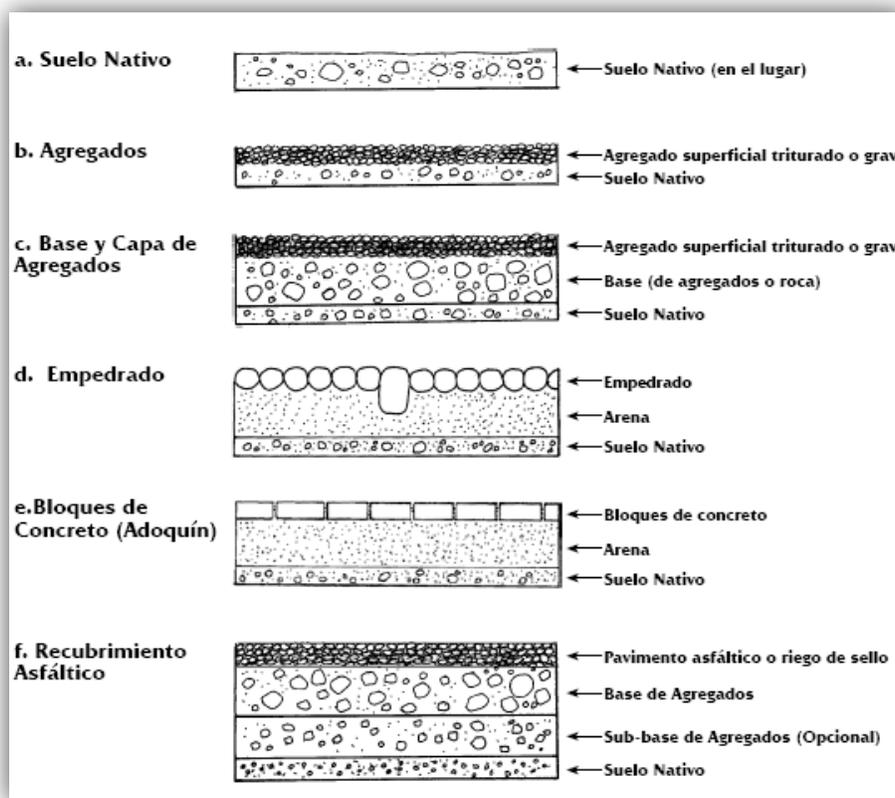
Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” al diseñar elaborar y estabilizar de taludes, cortes y rellenos en caminos rurales para minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y principalmente el suelo en la construcción de caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Construcción de cortes con taludes verticales (excepto en suelos muy bien cementados y en piedra).
2	Ubicación de caminos donde el pie del relleno termina en el agua. No use métodos de colocación de rellenos a volteo en laderas escarpadas adyacentes a ríos.
3	Colocación de rellenos o de materiales a volteo en laderas de terreno natural con inclinaciones mayores de 60%.
4	Ubicación de caminos en zonas con inestabilidad natural o conocida.
5	Dejar los cortes, y particularmente los taludes de terraplén, desnudos y expuestos a la erosión.

b) Materiales para caminos

Es recomendable, y en muchos casos necesarios, agregar soporte adicional a la subrasante o mejorar la superficie natural del cuerpo del terraplén con materiales tales como: grava, suelo con piedra o pedrín grueso, agregados triturados, bloques de concreto, o algún tipo de recubrimiento bituminoso como riego de sello, o inclusive un pavimento asfáltico como se aprecia en la Figura 20. La selección del tipo de recubrimiento depende del volumen de tránsito, de los suelos locales, de los materiales disponibles, de la facilidad de mantenimiento y, a final de cuentas, del costo.

Figura 20. Tipo de revestimientos usados comúnmente para superficies de caminos rurales



Fuente: *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Para los caminos rurales en suelos blandos o de subrasante pobre existen varias opciones para mejorar su capacidad estructural. De manera general, se consideran las siguientes:

- a. Agregar material de mayor resistencia y calidad sobre el suelo blando, como puede ser una capa de grava o piedrín.
- b. Mejorar el suelo blando en el lugar (in situ) al mezclarlo con aditivos estabilizadores tales como cal, cemento, asfalto o productos químicos;
- c. Cubrir o proteger el suelo blando con materiales tales como geotextiles o piezas de madera (camino de troncos);
- d. Remover el suelo blando o pobre y sustituirlo por un suelo de alta calidad o por material rocoso;
- e. Limitar el uso del camino durante periodos de clima lluvioso que es cuando los suelos arcillosos se ponen blandos;
- f. Compactar el suelo local para aumentar su peso volumétrico y su resistencia; y
- g. Mantener el suelo sin humedad mediante un drenaje efectivo del camino o encapsulando al suelo para mantener el agua alejada de él.

En fin, se pueden usar diversos materiales para estabilización tales como asfaltos, cal, cementos, resinas, lignina, cloruros, enzimas y productos químicos con el propósito de mejorar las propiedades físicas del suelo en el lugar. Pueden resultar muy redituables en cuanto a costo en zonas donde el agregado u otros materiales sean difíciles de conseguir o resulten caros. Sin embargo, la grava, la piedra de canteras, o el agregado triturado son los materiales más comunes para mejorar la superficie de rodadura que se usan en la construcción de caminos de bajo volumen de tránsito.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para la selección y uso de materiales en caminos rurales, que evite impactos negativos en el ecosistemas, la biodiversidad y principalmente en el suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	Estabilizar la superficie del camino en el caso de caminos que forman rodadas o que se desmoronan excesivamente. Entre las técnicas más comunes de estabilización superficial se incluye la colocación de una capa de agregado triturado de entre 10 y 15 cm de espesor; de materiales rocosos extraídos de canteras o cribados; de empedrados; de recortes de madera o de desperdicio vegetal fino de aprovechamientos forestales; o de suelos mezclados y estabilizados con cemento, asfalto, cal, lignina, cloruros, productos químicos, o enzimas.
2	Para el caso de tránsito pesado sobre suelos blandos de la subrasante, usar una sola sección estructural gruesa formada por una capa de agregado de cuando menos 20 a 30 cm de espesor. Alternativamente, usar una sección estructural consistente en una capa de 10 a 30 cm de agregado para base o de piedra gruesa fracturada, recubierta por una capa de entre 10 y 15 cm de espesor de agregado para superficie de rodadura revestido. Para los suelos tropicales blandos con alto contenido de arcilla y las cargas por llanta de vehículos pesados puede hacerse necesaria una sección estructural de mayor espesor. El espesor estructural necesario es función del volumen de tránsito, de las cargas y del tipo de suelo, y debería determinarse idealmente mediante experiencia local o con pruebas, como puede ser el uso de la prueba CBR.
3	Mantener un gradiente transversal de 2-5% en el camino con pendientes hacia adentro, hacia afuera o con coronamiento para desalojar rápidamente el agua fuera de la superficie del camino. Nivelar o dar mantenimiento a la superficie del camino antes de que se produzcan baches, ondulaciones o roderas importantes.
4	Compactar el material del terraplén, el material de superficie de rodadura o el agregado durante la construcción y el mantenimiento para lograr una superficie del camino densa y tersa a la vez, con lo cual

No.	Prácticas recomendadas
	se reduce la cantidad de agua que se puede infiltrar en el camino.
5	Estabilizar “puntualmente” las zonas húmedas locales y las áreas blandas con una capa de entre 10 y 15 cm de material grueso empedrado. Agregar más piedra en caso necesario.
6	Estabilizar la superficie del camino en zonas sensibles cercanas a ríos y en cruces de drenaje a fin de minimizar la erosión de la superficie de rodada o rodadura.
7	Controlar el exceso de polvo en el camino con agua, aceites, o use otro tipo de eliminadores de polvo.
8	Mezclar el agregado grueso con un suelo fino altamente arcilloso (cuando esté disponible) para producir un material satisfactorio combinado para el camino, que sea grueso y a la vez bien graduado con 5 a 15% de finos como ligantes.
9	Aplicar medidas de control de calidad del proyecto de construcción, mediante la observación visual, el muestreo y prueba de los materiales, para alcanzar densidades especificadas y materiales de calidad bien graduados para el camino.
10	En el caso de caminos de más altas especificaciones y de mayores volúmenes de tránsito (colectores, principales o secundarios) use materiales adecuados y rentables en cuanto a costo para superficies de rodadura como pueden ser aceites, bloques de pavimentación, tratamientos superficiales asfálticos (riegos de sello) y pavimentos de concreto asfáltico.

Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para la selección y uso de materiales en caminos rurales y minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y principalmente el suelo en la construcción de caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Operaciones de construcción o uso intensivo durante periodos húmedos o lluviosos en caminos con superficies de rodadura construidas con suelos arcillosos o de grano fino, que forman rodada.
2	Dejar que se formen roderas y baches de más de 5 a 10 cm de profundidad en la superficie de rodadura.
3	Estabilización de la superficie del camino usando empedrado grueso con fragmentos mayores de unos 7.5 cm. Es difícil circular sobre piedra gruesa y se dificulta mantener estabilizada la superficie de rodadura, y además, daña las llantas.
4	Uso de materiales de recubrimiento constituidos por suelos de grano fino; uso de piedra blanda que se degradará hasta convertirse en sedimentos finos; o uso de piedras gruesas limpias mal graduada que se va a erosionar o a formar ondulaciones.

c) Ubicación de los bancos de materiales

El uso de fuentes de abastecimiento de materiales locales, tales como bancos de préstamo y canteras, puede dar lugar a importantes ahorros en los costos de un proyecto, en comparación con el costo de acarreo desde fuentes lejanas (generalmente comerciales). Las fuentes pueden ser afloramientos de piedra cercanos o depósitos de material granular, adyacentes al camino, o dentro del derecho de vía. El uso de materiales locales de costo relativamente bajo puede traer como resultado la aplicación de mayores extensiones de superficie de rodadura y de mejor protección de taludes con piedra ya que los materiales están muy a la mano y no son caros. Sin embargo, los materiales de baja calidad implicarán un mayor mantenimiento del camino y pueden tener un comportamiento pobre.

En general, los bancos de préstamo y las canteras pueden producir impactos negativos importantes, incluyendo la producción de sedimentos de un área grande desgastada por erosión, un cambio en el uso

del suelo, impactos en la vida silvestre, problemas de seguridad, e impactos visuales. Es por ello que la planificación del área de una cantera, su ubicación y su explotación deberían generalmente llevarse a cabo en combinación con un Análisis de Impacto Ambiental para determinar la idoneidad del área y las limitaciones. Por tal motivo se debe preparar un Plan de Desarrollo de Banco de materiales para cualquier aprovechamiento de canteras para definir y controlar el uso del sitio y de los materiales que se van a extraer.

Los depósitos fluviales de gravas o los depósitos de terrazas de ríos generalmente se usan como bancos de materiales. Sin embargo, estos depósitos no deben utilizarse ya que puede causar daños importantes a la vía fluvial. Sin embargo, puede ser razonable retirar ciertos materiales con las precauciones del caso. Algunos depósitos en barras de grava o en terrazas pueden resultar adecuados como bancos de materiales, sobre todo si están por encima del canal activo. El equipo no se debe operar dentro del agua.

La regeneración del área es por lo general necesaria una vez concluida la extracción de los materiales, y la rehabilitación deberá formar parte integral del desarrollo del sitio. El trabajo de regeneración se debería identificar y definir en un Plan de Recuperación de Bancos. El trabajo de rehabilitación puede incluir la conservación y la colocación de una nueva capa vegetal, la reconfiguración del banco, la reforestación, el drenaje, el control de la erosión y las medidas de seguridad.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para la selección y uso banco de materiales para la construcción de caminos rurales, que evite impactos negativos en el ecosistemas, la biodiversidad y principalmente en el suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	Desarrollar localmente bancos de préstamo, canteras y fuentes de abastecimiento de materiales en bruto siempre que resulte práctico en el sitio de un proyecto. Asegurarse de que se ha llevado a cabo un Análisis de Impacto Ambiental para el establecimiento de nuevas fuentes de abastecimiento de materiales.
2	Usar un Plan de Desarrollo de Bancos para definir y controlar el uso de materiales locales. En este Plan se debería incluir la ubicación del área, la extensión del aprovechamiento, la excavación, las áreas de almacenamiento y de trabajo, la geometría del banco, el volumen de material utilizable, las limitaciones del sitio, una vista en planta, las secciones transversales de la zona, etc. En el plan se deberían también considerar las clausuras provisionales o temporales, así como las operaciones futuras.
3	Preparar un Plan de Recuperación de Bancos en combinación con la planificación del banco para devolverle a la zona otros usos productivos en el largo plazo. En un Plan de Recuperación de Bancos se debería incluir información como la de conservación e incorporación de la capa vegetal, la configuración final, las necesidades de drenaje, la reforestación y las medidas de control de erosión.
4	Reconfigurar, reforestar y controlar la erosión en bancos de préstamo a los lados del camino para minimizar sus impactos visuales y ambientales. De preferencia, localizar las fuentes de abastecimiento de materiales, ya sea dentro del derecho de vía del camino o fuera de la vista del camino.
5	Mantener el control de calidad del proyecto mediante prueba de materiales para garantizar la producción de materiales de calidad adecuada en canteras y en bancos de préstamo.

Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para la selección y uso bancos de materiales para la construcción de caminos rurales y minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y principalmente el suelo en la construcción de caminos rurales:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Operaciones de extracción de piedras dentro del cauce del río y sobre todo el trabajo con equipos dentro del río.
2	Explotación de fuentes de abastecimiento de materiales sin planificación y sin poner en práctica medidas de recuperación.
3	Uso de materiales de baja calidad, cuestionables o no probados sin una investigación y ensayos previos.

d) Control de la erosión en las áreas adyacentes

Además, la mayor parte de la erosión ocurre durante la primera temporada de lluvias posterior a la construcción. Las medidas de control de la erosión necesitan ponerse en práctica inmediatamente después de terminada la construcción y cada vez que haya una alteración en la zona. Los modelos de predicción de la erosión tales como el WEPP (Water Erosion Prediction Project) o el RUSLE (Revised Unified Soil Loss Equation) se pueden aplicar para cuantificar la erosión y para comparar la efectividad de diversas medidas de control de la erosión. El flujo de agua concentrado puede iniciarse como un flujo laminar pequeño, producir riachuelos, y eventualmente dar lugar a la formación de una quebrada importante como se observa en la Figura 21.

Figura 21. Escorrentía superficial en caminos descubiertos formando zanjas y cárcavas



Ruta Yepocapa, Chimaltenango a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla

Fuente: Consecuencias de la tormenta Stan en la Infraestructura Vial de Guatemala y la Estrategia de Reconstrucción Nacional, CIV, 2006.

Entre las prácticas de control de la erosión se incluye la protección de la superficie y la cobertura del terreno con redes, material vegetal o desperdicio vegetal o piedra, la instalación de estructuras para el control del agua y de los sedimentos; la colocación de cubierta vegetal, la siembra de pasto y diversas formas de reforestación. Con la utilización de métodos físicos como cunetas revestidas, bermas, troceados de madera, y barreras contra derrumbes, se controla o se encauza el flujo del agua, se

protege a la superficie del terreno contra la erosión. Los métodos de vegetación en los que se utilizan pastos, maleza, arbustos y árboles, ofrecen cobertura al terreno, resistencia producida por las raíces, y protección del suelo con vegetación “natural” económica y estética, al mismo tiempo que ayudan a controlar el agua y a promover la infiltración. Las especies locales nativas que tengan las propiedades antes mencionadas se deberán usar preferentemente. Sin embargo, ciertos pastos como el tipo Vetiver, se han usado ampliamente en todo el mundo debido a sus fuertes y profundas raíces, su adaptabilidad y sus propiedades no agresivas.

Los métodos biotécnicos (tales como capas de maleza o pastos, estacas vivas y arbustos en hilera) ofrecen una combinación de estructuras con vegetación para impartir protección física así como un apoyo adicional a largo plazo para las raíces y aspectos estéticos

Un Plan de Control de la Erosión y el empleo de medidas de control de la erosión deberían formar parte integral de cualquier proyecto de construcción de caminos rurales, el cual deberá ser monitoreado por un equipo multidisciplinario principalmente conformado por ingenieros civiles y en recursos naturales y de preferencia un hidrólogo o hidrogeólogo. Entre los elementos que debe considerar un Plan de Control de la Erosión y de Reforestación, se incluye: a) la ubicación y las condiciones climáticas del proyecto; b) los tipos de suelos; c) el tipo de medidas de control de la erosión; d) la programación de la aplicación de las medidas de control de la erosión con vegetación; e) el origen de las semillas y de las plantas; f) los métodos de siembra, etc.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para el adecuado control de la erosión en la construcción de caminos rurales, que evite impactos negativos en el ecosistema, la biodiversidad y principalmente en la pérdida del suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	Integración de un equipo multidisciplinario conformado principalmente por ingenieros civiles y en recursos naturales, así como especialistas en hidrología o hidrogeología, especialmente en regiones con altos regímenes de lluvia (zonas tropicales). Cuando sea en zonas con alta biodiversidad o en ecosistemas frágiles que albergue especies endémicas o en peligro de extinción, también es importante considerar a un especialista en biología.
2	Desarrollar para cada proyecto un Plan de Control de la Erosión que contenga las necesidades básicas y definitivas para control de la erosión, las acciones específicas, y la metodología de implementación de dichas acciones. Preparar planos típicos para trampas de sedimentos, setos contra sedimentos, barreras de maleza, cubiertas del suelo, diques de retención, cunetas revestidas y medidas biotécnicas.
3	Alterar lo menos posible el área del terreno, estabilizar esa área tan pronto como sea posible, controlar el drenaje a través del terreno, y atrapar los sedimentos en el lugar.
4	Conservar la capa vegetal con sus desechos de hojas y materia orgánica y volver a colocar este material en zonas locales alteradas para promover el crecimiento de la vegetación nativa local.
5	Aplicar semillas de pasto local nativo y una cubierta vegetal en las zonas desgastadas con suelos erosionables o en la superficie de los caminos cerrados. El material para la cubierta vegetal puede ser paja, troceados de madera, corteza, maleza, hojas y ramas, papel picado, piedra, etc.
6	Aplicar medidas de control de la erosión antes del inicio de la temporada de lluvias y después de cada temporada de construcción, de preferencia inmediatamente después de la construcción. Instalar medidas de control de la erosión conforme se va terminando cada tramo del camino.
7	Cubrir las zonas alteradas o erosionables con ramas, material vegetal de árboles y desechos de madera, de preferencia colocado en el contorno y aplastado para lograr un buen contacto con el suelo.
8	Instalar estructuras para el control de sedimentos donde sea necesario para disminuir la velocidad del escurrimiento o para reorientarlo y para atrapar sedimentos mientras crece la vegetación. Entre las estructuras de control de sedimentos se incluyen camellones de material vegetal de árboles, o

No.	Prácticas recomendadas
	montículos de piedra, zanjas de sedimentación, paja, setos de maleza o arbustos, y barreras de protección.
9	Controlar el flujo de agua a través de los sitios de construcción o de las zonas alteradas mediante cunetas, montículos, estructuras de retención, barreras de pastos naturales, piedra, etc.
10	Colocar camellones de troncos o maleza de chapeo a lo largo del pie de los taludes de relleno del camino.
11	Estabilizar los taludes de cortes y de rellenos, los rellenos de astillas, las zonas altas desgastadas, o las quebradas con capas de maleza, estructuras de piedra con estacas vivas, setos vivos en hilera, u otro tipo de medidas biotécnicas.
12	Monitoreo para mantener y repetir aplicaciones de medidas de control de la erosión hasta que crezca la vegetación y se estabilice el talud. Realizar pruebas físicas y químicas en el suelo en caso necesario, para determinar la situación de la estructura del suelo y los nutrientes disponibles.
13	Cuando sea necesario usar fertilizantes en zonas con suelos pobres carentes de los nutrientes necesarios, para mejorar el crecimiento vegetal más rápido y lograr un mejor control de la erosión. Agregar agua o riego únicamente en caso necesario para hacer crecer inicialmente la vegetación o cuando la obra ha sido terminada con anticipación a la época lluviosa.
14	Desarrollar fuentes locales de plantas y viveros para contar con materiales de origen vegetal para el control de la erosión. Usar especies nativas locales de preferencia (ni exóticas ni invasoras). Seleccionar especies adecuadas para el uso, el sitio y el entorno biológico.

Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para el adecuado control de la erosión de suelo en la construcción de caminos rurales, con el fin de minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y principalmente el suelo:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Alteración innecesaria de grandes extensiones.
2	Dejar sin protección contra la erosión al suelo nativo después de una nueva construcción o de haber alterado el terreno.
3	Movimientos de tierras y actividades de construcción de caminos durante periodos de lluvia o en el invierno.
4	No tomar en cuenta la cercanía a ríos o nacimientos o cercanías a zonas de captación y regulación hidrológica (drenajes naturales efímeros e intermitentes).
5	Dejar actividades inconclusas.
6	Realizar movimientos de tierra sin la supervisión de especialistas en el manejo y control de erosión de suelos.

e) Estabilización de cárcavas

Las cárcavas (o quebradas), constituyen una forma específica de erosión severa causada normalmente por el flujo concentrado de agua sobre suelos erosionables. El flujo concentrado de agua se puede iniciar como un flujo laminar pequeño, para luego producir escorrentía como riachuelos y con el tiempo dar lugar a la formación de una cárcava importante. Las cárcavas pueden afectar en gran medida una cierta zona al dejar improductiva una parte del terreno y al hundir el nivel de aguas freáticas, y además constituir una fuente importante de generación de sedimentos (Ver Figura 22).

Figura 22. Cárcava típica producida por exceso de agua concentrada sobre suelos erosionables y/o por prácticas inadecuadas de uso de suelo



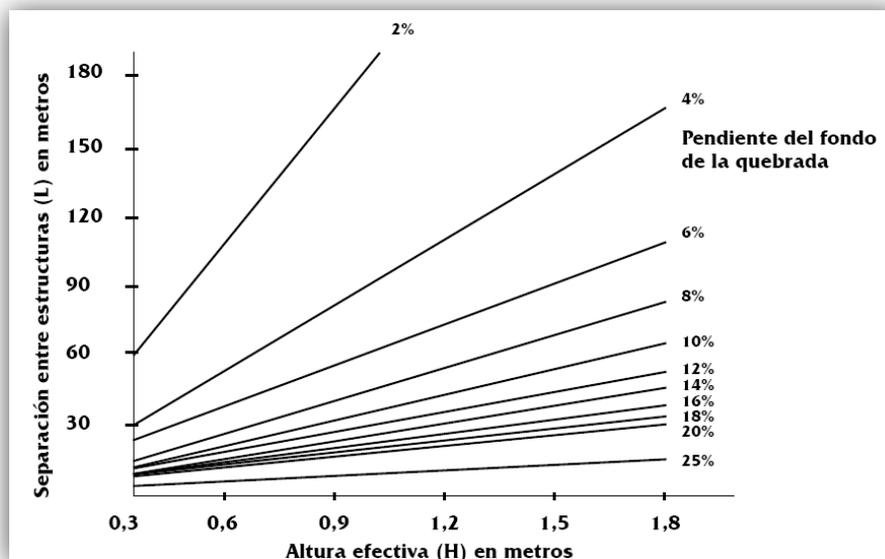
Fuente: Sistemas agroforestales para el altiplano occidental de Guatemala, agosto 2012.

Pueden ser producidas por el flujo concentrado de agua que escurre fuera de los caminos o pueden afectar a los caminos al requerir cruces adicionales de desagüe y un mantenimiento más frecuente. Una vez formadas, las cárcavas se agrandan con el tiempo y seguirán su proceso de socavación hasta que lleguen al material parental del suelo. También se amplían lateralmente a medida que se profundizan. Con frecuencia las cárcavas se forman a la salida de las alcantarillas o de los drenes transversales mal diseñados o no adecuados a tipo de flujos concentrados y a las velocidades relativamente rápidas del agua.

Para la estabilización de cárcavas se necesita eliminación o la reducción de la fuente de agua que fluye a través de la cárcava, para luego rellenar de nuevo la cárcava o zanja, mediante la colocación de diques, o presas pequeñas, a intervalos determinados a lo largo de la cárcava. Además, deberá estabilizarse las paredes de la cárcava, si es que es muy profunda, para lo cual se utilizan materiales como piedra, troncos, pastos, y cuando son muy estratégicas mallas con bambú.

La separación recomendada entre estructuras depende de la pendiente del terreno o del canal de la quebrada, y de la altura de cada una de las estructuras como se aprecia en la Figura 23.

Figura 23. Detalle de la separación de las estructuras para el control y recuperación de cárcavas



Fuente: adaptado de D. Gray y A. Leiser, 1982, tomado *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales* (Keller & Sherar, 2008)

Entre los detalles importantes para diseñar estructuras exitosas para estabilización de cárcavas, se incluyen las siguientes:

- Colocar una moldura (cimacio), ya sea dentado o en forma de “U”, en la parte superior de la estructura para mantener el flujo de agua concentrado a la mitad del cauce;
- Acuñar con precisión la estructura en las márgenes laterales y con una longitud suficiente para evitar la erosión alrededor de los extremos de las estructuras;
- Empotrar o incrustar las estructuras con suficiente profundidad en el canal para evitar el flujo por debajo de la estructura;
- Desbordar el agua sobre la estructura para descargarla en un vertedero de protección contra derrames, en una capa de empedrado de protección o en un estanque de agua a fin de evitar la socavación y el arrastre de los cimientos de la estructura;
- Colocación de las estructuras muy cercanas entre sí para que el flujo por encima de la estructura derrame en el agua estancada represada por la estructura inmediatamente aguas abajo.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se proponen las Prácticas recomendadas para la adecuada estabilización de cárcavas en la construcción de caminos rurales, que evite impactos negativos en el ecosistema, la biodiversidad y principalmente en la pérdida del suelo:

No.	Prácticas recomendadas
1	Integración de un equipo multidisciplinario conformado principalmente por ingenieros civiles y en recursos naturales, así como especialistas en hidrología o hidrogeología especialmente para regiones con altos regímenes de lluvia (zonas tropicales). Cuando sea en zonas con alta biodiversidad o en ecosistemas frágiles que albergue especies endémicas o en peligro de extinción, también es importante considerar a un especialista en biología.
2	Remover la fuente de agua para reducir el daño al suelo o la ampliación de la cárcava.
3	Controlar el flujo de agua en caso necesario mediante cunetas, montículos, taludes exteriores, etc. para alejar el agua de la parte superior de las quebradas.
4	Usar diques de retención para el control de la formación de cárcavas, contruidos con estacas, troncos, gaviones o piedra suelta, así como barreras de vegetación viva o capas de pastos y arbustos plantados en hileras, a través de las laderas y de las zonas alteradas para controlar y reducir la erosión en las cárcavas.
5	Colocar estructuras de control de cárcavas tan pronto como sea posible después de la formación inicial de una cárcava. Estas por lo general aumentan de tamaño con el tiempo.
6	Asegurarse de que las estructuras de control de cárcavas están instaladas con los detalles de diseño necesarios tales como: a) separación adecuada, b) bien enterrados en las márgenes laterales y en el fondo del canal, c) con una ranura en la parte superior para mantener los flujos sobre la parte media de la estructura, d) y protección contra la erosión en el talud descendente.
7	Instalar estructuras de retención en la parte superior de la cárcava para evitar el avance hacia aguas arriba de las cárcavas en zonas de llanuras.
8	Desarrollar fuentes locales de plantas y viveros para vegetación nativa que se puedan usar en las estructuras de control de quebradas.

Asimismo, a continuación se proponen algunas de las prácticas que deben “evitarse” para la adecuada estabilización de cárcavas en la construcción de caminos rurales, con el fin de minimizar los impactos negativos en los ecosistemas, biodiversidad y principalmente el suelo:

No.	Prácticas que deben evitarse
1	Dejar las cárcavas sin protección contra erosión progresiva.
2	Instalar estructuras de diques de retención con una parte superior recta y plana, sin protección contra la socavación, y sin enterrarse perfectamente en las márgenes.
3	Dejar actividades de construcción de caminos rurales inconclusas.
4	Realizar actividades que relacionen movimiento de suelo sin la supervisión de especialistas en el manejo y control de erosión de suelos.

5.4.3 *Mantenimiento de caminos rurales*

El mantenimiento es un factor crítico en la gestión de caminos. Un camino adecuadamente mantenido conservará sus condiciones de transitabilidad, aumentará su vida útil y, en general, será más resiliente ante los eventos asociados con las amenazas hidroclimáticas.

Los caminos rurales deben mantenerse durante su uso activo, una vez terminadas las operaciones periódicas, y después de ocurrir tormentas importantes, para asegurarse de que las obras de drenaje están funcionando correctamente. Las lluvias fuertes pueden producir fallas y consecuentes deslizamientos de tierra en los taludes, que obstruirán las cunetas, haciendo que el agua escurra sobre la superficie del camino, erosionando ésta y el talud del terraplén. Los escombros son arrastrados por los cauces naturales durante las lluvias fuertes y bloquean las estructuras de drenaje, haciendo que el agua desborde sobre el camino y erosionando el relleno.

Las roderas, ondulaciones y baches en la superficie de rodadura almacenarán agua, debilitarán la sección estructural de la calzada, acelerarán el daño superficial, y dificultarán la conducción y movilidad vehicular.

Como se mencionó anteriormente, es fundamental realizar el mantenimiento de rutina en cualquier camino rural para mantener las condiciones de servicio del mismo y que su sistema de drenaje funcione correctamente.

Con un camino bien conservado se reducirán los costos de los usuarios del camino, se evitarán daños a la calzada y se minimizará la producción de sedimentos.

La forma en que se le dará mantenimiento al camino debe determinarse y planificarse antes de que éste se construya o rehabilite.

A. Aspectos clave en el mantenimiento de caminos

- Nivelar y conformar la superficie de la calzada para mantener bien definida una pendiente hacia adentro o hacia afuera o un coronamiento que permita drenar el agua rápidamente de la superficie de rodadura.
- Compactar la superficie nivelada de la calzada para mantener una superficie dura de rodadura y evitar la pérdida de material de revestimiento. Reemplazar el material de revestimiento cuando sea necesario.
- Remover las roderas a través de los vados ondulantes superficiales y de los caballetes desviadores. Reconfigurar las estructuras para que funcionen debidamente.
- Limpiar las cunetas y reconfigurarlas cuando sea necesario, para mantener una capacidad de flujo adecuada.
- Retirar los escombros de la entrada de alcantarillas para evitar el taponamiento y el desbordamiento. Inspeccionar frecuentemente en busca de daños o indicios de socavación.

No.	Prácticas recomendadas
1	Llevar a cabo el mantenimiento cuando sea necesario. No deje que las condiciones del camino se deterioren con el paso del tiempo. Mientras más tiempo se espere, mayores serán los daños que podrán ocurrir y las reparaciones serán más costosas y complejas.
2	Mantener las cunetas y alcantarillas libres de escombros, pero conserve una superficie resistente a la erosión como puede ser el pasto o la roca en el fondo de las cunetas. Retirar los escombros aprovechando las inspecciones rutinarias. También se recomienda mantener limpios los canales de desbordamiento.
3	Renivelar y configurar periódicamente la superficie del camino para mantener un drenaje superficial adecuado.
4	Cuando las condiciones de disponibilidad de agua lo permitan, mantener humedecida la superficie del camino durante la nivelación. Rellenar las roderas y los baches con grava o material compactado, tan frecuentemente como sea posible. Mantener los vados ondulantes superficiales configurados y nivelados. Es recomendable compactar la superficie final nivelada del camino, para reducir su permeabilidad y volatilidad.
5	Mantener el lado de bajada del camino libre de protuberancias o bermas, excepto cuando las mismas se construyan intencionalmente para controlar agua o tránsito.
6	Para estabilizar la superficie del camino, se recomienda aplicar un material (agregados o pavimentos) a la superficie del camino para proteger a la calzada contra daños y disminuir la frecuencia de mantenimiento necesario.
7	Evitar la alteración del suelo y de la vegetación a menos que sea inevitable. Dejar la mayor cantidad de vegetación (pastos) en las cunetas, en las zonas del acotamiento del camino, y en los taludes de cortes y rellenos (sobre todo pastos y maleza de tamaño pequeño) siempre que sea posible. Sin embargo, asegúrese que los drenajes sigan funcionando correctamente.
8	Retirar materiales desprendidos de la calzada o del interior de las cunetas donde el material pueda obstruir el drenaje normal de la superficie de la calzada.
9	Evitar ensanchar el camino o el exceso de inclinación de los taludes de relleno formados al empujar con cuchilla el material superficial fuera del camino.
10	Cierre el camino durante condiciones de lluvia excesiva o en periodos de inactividad.
11	Inspeccionar el camino a intervalos regulares, sobre todo después de periodos de lluvias fuertes.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- CIEN. (2011). *Infraestructura en Guatemala. Lineamientos de Política Económica, Social y de Seguridad 2012-2020*. Guatemala: autor.
- CIV. (1996). *Plan Maestro Nacional de Transporte 1996 – 2015*. Guatemala: autor.
- CIV-DGC. (2012). *Plan Operativo Anual 2012, Dirección General de Caminos*. Guatemala: autor.
- CIV-DGC. (2013). *Plan Operativo Anual 2013, Dirección General de Caminos*. Guatemala: autor.
- CIV-DGC. (2007). *Reformulación y actualización del Plan de Desarrollo Vial 2008-2017*. Guatemala: Euroestudios.
- DGC-MICIVI. (2000). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: autor.
- Escobal, J. & Ponce, C. (2002). *El beneficio de los caminos rurales: ampliando oportunidades de ingreso para los pobres (Documento de Trabajo 40)*. Lima: Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE).
- IARNA-URL. (2008). *Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de Guatemala (Documento 24, Serie técnica No. 22)*. Guatemala: autor.
- INE. (2005). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Guatemala: autor.
- INE. (2003). *Lugares Poblados y Vivienda, XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación*. Guatemala: autor.
- Keller, G. & Sherar, J. (2008). *Ingeniería de Caminos Rurales. Guía de campo para las mejores prácticas de gestión de caminos rurales*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Transporte.
- Lemus, M. & Navarro, G. (2003). *Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelos*. San Fernando, Chile: Gobierno de Chile.
- Mendoza, D., Berditchevsky, G., Mendoza, M. & Lara, E. (2000). *Implementación de un sistema de gestión de caminos no pavimentados en Guatemala*. Guatemala: autores.
- World Bank. (1994). *World Development Report 1994: Infrastructure for Development*. New York: Oxford University Press.

VII. GLOSARIO

Adaptación

Iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados del cambio climático. Existen diferentes tipos de adaptación; por ejemplo: preventiva y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada. Algunos ejemplos de adaptación son la construcción de obras de infraestructura para reducir los impactos de las crecidas de las aguas, la sustitución de plantas sensibles al choque térmico por otras más resistentes, promover el manejo de los bosques altamente susceptibles al cambio climático, etc.

Amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso, durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado. En términos generales, se refiere a un peligro latente o factor de riesgo externo de un sistema o de un sujeto expuesto, que se puede expresar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado.

Anomalía climática

Es la diferencia, positiva (+) o negativa (-), que se observa en las variables de medición climática, respecto a su normal climática. Esta es un tipo de medición estadística. Si la diferencia observada es superior a la normal climática se denomina anomalía positiva, por el contrario si la observación es menor se le denomina anomalía negativa.

Cambio climático

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, en su artículo I, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMCCNU hace la diferencia entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Camino rural

Se define a los caminos, como las vías que se construye para transitar, y que permiten el desplazamiento de hombres y vehículos. Con base a esta definición, los caminos rurales son las vías que se construyen para que se desplacen las personas que residen en las áreas rurales.

Caudal razonable de diseño

Es el caudal que se establece para el diseño de las estructuras de drenaje de las carreteras y caminos. Es de fundamental importancia, para que las estructuras puedan funcionar correctamente y para prevenir

posibles fallas. Se basa comúnmente en una tormenta que tiene una frecuencia de recurrencia (período de retorno) de 20 a 100 años, dependiendo del tipo y valor de la estructura y de los reglamentos locales. Cualquier alcantarilla tiene una capacidad de flujo limitada que no debería excederse. Los puentes también tienen una capacidad específica para la sección transversal de diseño pero generalmente es lo suficientemente grande para desalojar los caudales de diseño.

El diseño de vados o cruces se basa en estimaciones, tanto de los caudales mínimos (estiaje), como de los máximos para ese drenaje en particular, pero son menos sensibles a las estimaciones del flujo.

Clima

El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años.

El período habitual de promedio es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos.

Escenario climático

Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque éstos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Eventos (o fenómenos) hidrometeorológicos extremos (EHE)

Son eventos o fenómenos raros dentro de su distribución estadística de referencia en un lugar determinado. Las definiciones sobre lo que se considera 'raro' pueden variar, pero un fenómeno meteorológico extremo puede ser normalmente tan raro o más raro que el percentil 10° o 90°. Por definición, las características de una meteorología extrema varían según los lugares. Un fenómeno climático extremo es una media de una serie de fenómenos meteorológicos en un período concreto, media que de por sí es extrema (por ejemplo la precipitación durante una estación).

Es difícil definir lo que son extremos hidrometeorológicos, pues diferentes definiciones puede considerar ya sea las características físicas o los impactos. Los impactos incluyen pérdidas económicas, pérdidas de vidas, etc., y las causas físicas pueden incluir los sistemas meteorológicos responsables por las lluvias intensas, que pueden ser cuantificadas considerando límites estadísticos expresados como lluvias por encima de algún valor durante un corto periodo, y que pueden generar descargas de ríos mayores que un valor crítico, o también inundaciones en áreas urbanas.

Peralte

Es la pendiente transversal que se da en las curvas a la plataforma de una vía férrea o a la calzada de una carretera, con el fin de compensar con una componente de su propio peso la inercia de los vehículos, y lograr que la resultante total de las fuerzas se mantenga aproximadamente perpendicular al plano de la

vía o de la calzada. El objetivo del peralte es contrarrestar la fuerza centrífuga que impele al vehículo hacia el exterior de la curva.

Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre.

Variabilidad climática

El concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales.

La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externonatural o antropogénico (variabilidad externa).

Vulnerabilidad

Es la cualidad de vulnerable, que se evalúa según la susceptibilidad a ser afectado, así como su capacidad a recuperarse después de estar expuesto a un evento. Este concepto puede aplicarse a una persona o a un grupo social según su capacidad para prevenir, resistir y sobreponerse de los efectos de un evento en particular.