



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UE-006-11

EVALUACIÓN ANTE AMENAZA SÍSMICA DE LOS PUENTES UBICADOS EN EL TRAMO SAN RAMÓN-BARRANCA, RUTA NACIONAL 1

Preparado por:

Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional

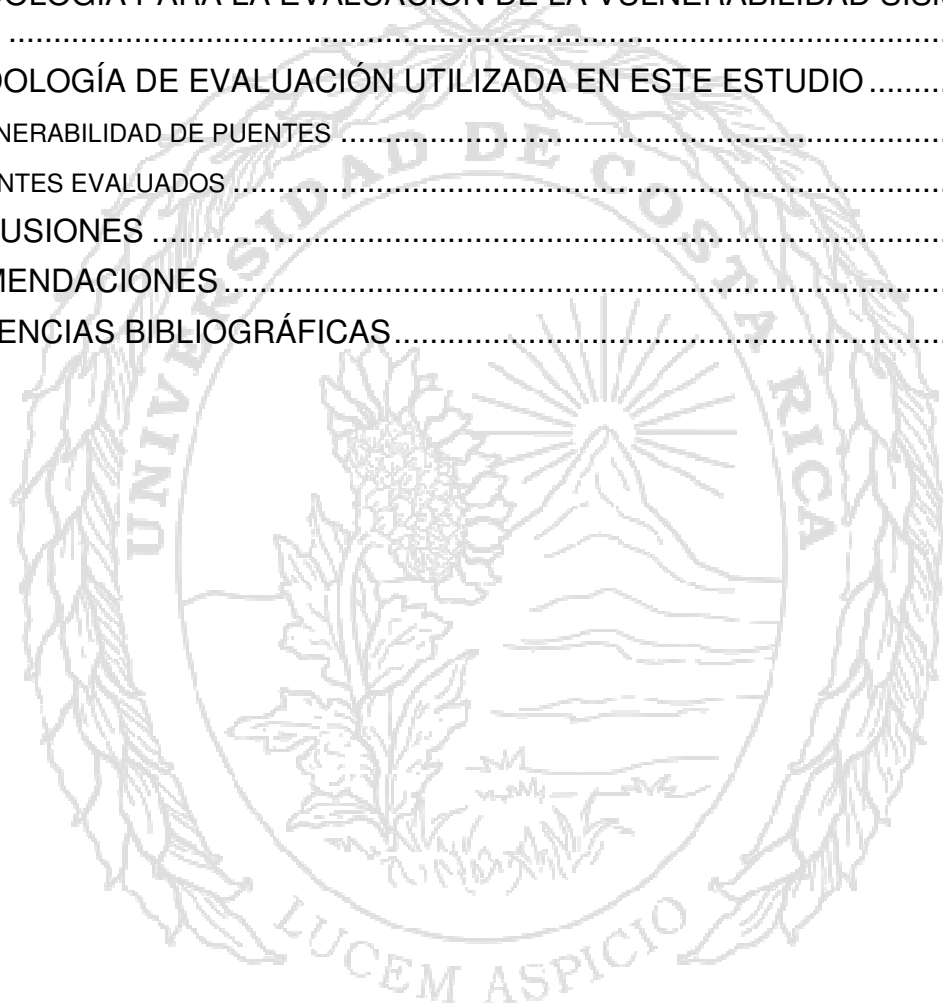
San José, Costa Rica
Junio, 2011

1. Informe LM-PI-UE-006-11		2. Copia No. 2
3. Título: EVALUACIÓN ANTE AMENAZA SÍSMICA DE LOS PUENTES UBICADOS EN EL TRAMO SAN RAMÓN-BARRANCA, RUTA NACIONAL 1		4. Fecha del Informe Junio, 2011
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias No Aplican		
9. Resumen <i>Se presenta la evaluación ante amenaza sísmica de los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo ubicados en la Ruta Nacional 1, y el Paso Superior sobre la Ruta Nacional 23 (PSSR23) tomando en consideración sus características estructurales y utilizando mapas de aceleraciones, según la amenaza sísmica, para periodos de retorno de 100 y 500 años.</i> <i>La evaluación de vulnerabilidad de puentes ante la amenaza sísmica fue realizada por medio de la metodología RMS de Risk Management Solutions, Inc., la cual permite determinar el daño potencial que puede sufrir un puente ante sollicitaciones sísmicas, según sus características estructurales.</i> <i>Según el resultado obtenido para los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo y el P.S.S.R. 23 a partir de la aplicación de la metodología RMS, estos sufrirían un daño moderado, moderado, generalizado, moderado y moderado respectivamente para un periodo de retorno de 100 años, y generalizado, generalizado, total, generalizado y generalizado respectivamente para un periodo de retorno de 500 años.</i>		
10. Palabras clave Evaluación, amenaza sísmica, puentes	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 27
13. Preparado por: Ing. Diego A. Cordero Carballo Ingeniero Evaluador  Fecha: 10 /06/2011		
14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal Externo LanammeUCR  Fecha: 10 /06/2011	Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 10 /06/2011	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 10 /06/2011



TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	4
1. POTESTADES	5
2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN.....	5
3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES	6
4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN UTILIZADA EN ESTE ESTUDIO	11
4.1. VULNERABILIDAD DE PUENTES	11
4.2. PUENTES EVALUADOS	11
5. CONCLUSIONES	24
6. RECOMENDACIONES	24
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre la curva de fragilidad de un puente y las de sus componentes.	10
Figura 2. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 100 años.	13
Figura 3. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 100 años.	14
Figura 4. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 500 años.	15
Figura 5. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 500 años.	16
Figura 6. Vulnerabilidad de puentes en tramo analizado.	23
Figura 7. Vulnerabilidad de puentes en tramo analizado.	24

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de puentes.	9
Cuadro 2. Valor medio de aceleración pico como función de los daños en los puentes.	11
Cuadro 3. Criterios de vulnerabilidad para puentes.	11
Cuadro 4. Características del puente sobre el Río Grande.	17
Cuadro 5. Características del puente sobre el Río Jesús María.	18
Cuadro 6. Características del puente sobre el Río Barranca.	19
Cuadro 7. Características del puente sobre el Río Naranjo.	20
Cuadro 8. Características del Paso Superior Sobre la Ruta Nacional 23.	21
Cuadro 9. Daño asignado a los puentes evaluados.	22



1. POTESTADES

La ejecución de las evaluaciones técnicas realizadas dentro del Programa de Infraestructura del Transporte y la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica (UCR) de los distintos parámetros de la Red Vial Nacional, se fundamentan en las disposiciones que establece el Artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias.

De esta forma se responde al mandato expreso de la ley de realizar “Evaluación bienal de toda la Red Vial Nacional pavimentada” e informar “para lo que en derecho corresponda, a la Asamblea Legislativa, al Ministerio de la Presidencia, al MOPT, a la Contraloría General de la República y a la Defensoría de los Habitantes, el resultado final de las auditorías técnicas realizadas a proyectos en ejecución y de las evaluaciones efectuadas a la red nacional pavimentada, las carreteras y los puentes en concesión”.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA EVALUACIÓN

El objetivo de estas evaluaciones es valorar la vulnerabilidad ante amenazas naturales de los distintos elementos de la infraestructura vial, mediante metodologías técnicas, objetivas y oportunas, de manera que se aporten elementos que promuevan un proceso de planificación y acciones preventivas o correctivas por parte de la Administración activa del Estado costarricense.

En este caso particular se evaluó la vulnerabilidad ante amenaza sísmica de los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo, y el Paso Superior Sobre la Ruta 23 (PSSR23) ubicados todos en el tramo San Ramón (Est. 76+750) - Barranca (Est. 122+250) de la Ruta Nacional 1, con una longitud de 45,5 kilómetros.



3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE PUENTES

Para la evaluación de los daños que provocaría un terremoto sobre un puente, se pueden utilizar curvas de fragilidad, las cuales indican la probabilidad de que un determinado estado de daños sea excedido para una aceleración pico del terreno, en función de la forma estructural del puente y sus especificaciones de diseño.

Esta metodología se basa en estudios estadísticos del comportamiento de puentes ante sismos ocurridos en el pasado, y es una práctica muy utilizada en la actualidad debido al desarrollo de un gran número de curvas de fragilidad para distintos tipos de estructuras.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de puentes ante amenazas sísmicas se utiliza el método de Risk Management Solutions Inc. (RMS), publicado en 1997, el cual considera el comportamiento diferenciado de los tipos estructurales de puentes.

Este método consiste en la utilización de curvas de fragilidad para puentes, las cuales permiten conocer el estado de daños de un puente a partir de sus características estructurales y el valor de la aceleración pico del terreno con niveles de confianza dados.

Para realizar el análisis, los puentes deben ser agrupados de acuerdo con sus características estructurales, luego se relacionan con la aceleración pico del terreno por medio de funciones de daño que analizan el efecto de la sollicitación sísmica sobre cada uno de los componentes del puente.

La metodología de análisis se detalla a continuación:

1. Clasificación de puentes: El daño causado a un puente por las sollicitaciones sísmicas está directamente relacionado con las propiedades estructurales del puente, el cual puede ser clasificado usando tres criterios: tipo, diseño sismo-resistente y características de alto riesgo.



Tipo

- a. Puentes de gran tamaño: Aquellos con al menos una luz de 150 metros.
- b. Puentes continuos: Aquellos con luces menores de 150 metros, continuos y monolíticos.
- c. Puentes simplemente apoyados: Aquellos con una o varias luces menores de 150 metros y apoyos simples.

Diseño sismo-resistente

- a. Puentes con diseño sismo-resistente: Aquellos diseñados con los criterios sismo-resistentes de los códigos modernos o reforzados para cumplir con tales características.
- b. Puentes con diseño convencional: Aquellos diseñados sin tomar en cuenta los criterios de diseño sismorresistente.

Características de alto riesgo

- a. Superestructura con forma irregular, ya sea forma curvada o sesgado respecto al eje del río (se consideran sesgos mayores a 45° y las curvas mayores a 90°).
- b. Puentes construidos con códigos anteriores al AASHTO de 1973 deben ser considerados de alto riesgo.
- c. Número de luces, puentes simplemente apoyados con más de una luz deben ser considerados de alto riesgo, debido al pobre comportamiento de las pilas centrales.

De los criterios anteriores se obtiene 12 categorías de clasificación de puentes, los cuales se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de puentes.

Código	Descripción
HBR1	Puente de gran tamaño – diseño sismo resistente
HBR2	Puente de gran tamaño – diseño convencional
HBR3	Puente continuo – diseño sismo resistente
HBR4	Puente continuo – diseño convencional
HBR5	Puente simplemente apoyado – diseño sismo resistente
HBR6	Puente simplemente apoyado – diseño convencional
HBR7	Puente de gran tamaño – diseño sismo resistente de alto riesgo
HBR8	Puente de gran tamaño – diseño convencional –de alto riesgo
HBR9	Puente continuo – diseño sismo resistente – de alto riesgo
HBR10	Puente continuo – diseño convencional – de alto riesgo
HBR11	Puente simplemente apoyado – diseño sismo resistente – de alto riesgo
HBR12	Puente simplemente apoyado – diseño convencional – de alto riesgo

Fuente: Hazuz 1997; LanammeUCR, 2000.

2. Definición de los estados de daño, se definen cinco niveles de daño.
 - a. Ningún daño (ds1): El puente no presenta daño.
 - b. Daño menor (ds2): Agrietamiento menor y descascaramiento de los bastiones, así como agrietamiento menor en las columnas.
 - c. Daño moderado (ds3): Las columnas experimentan un agrietamiento moderado y descascaramiento, pero la columna estructuralmente funcional. Se presenta asentamiento de los accesos y en las conexiones se agrietan las llaves de cortante y se tuercen los pernos.
 - d. Daño generalizado (ds4): Las columnas se degradan sin colapsar (columnas estructuralmente inseguras), las conexiones pierden parcialmente su capacidad soportante y se da un asentamiento mayor en los accesos.

e. Daño total (ds5): Las columnas colapsan y las conexiones pierden toda su capacidad soportante, lo que implica un inminente colapso de la losa de sitio.

3. Funciones de daños de puentes: Para las categorías principales de puente los estados de daño son identificados y descritos con referencia al tipo de daño que ocurre en los sub componentes, tales como bastiones, losa de piso, accesos y conexiones. Las curvas de fragilidad de puentes clasificados como de alto riesgo son ajustadas para reflejar el comportamiento desfavorable que se espera de estas estructuras. En la Figura 1 se muestran curvas de fragilidad de los componentes que se adicionan para obtener la curva correspondiente al puente.

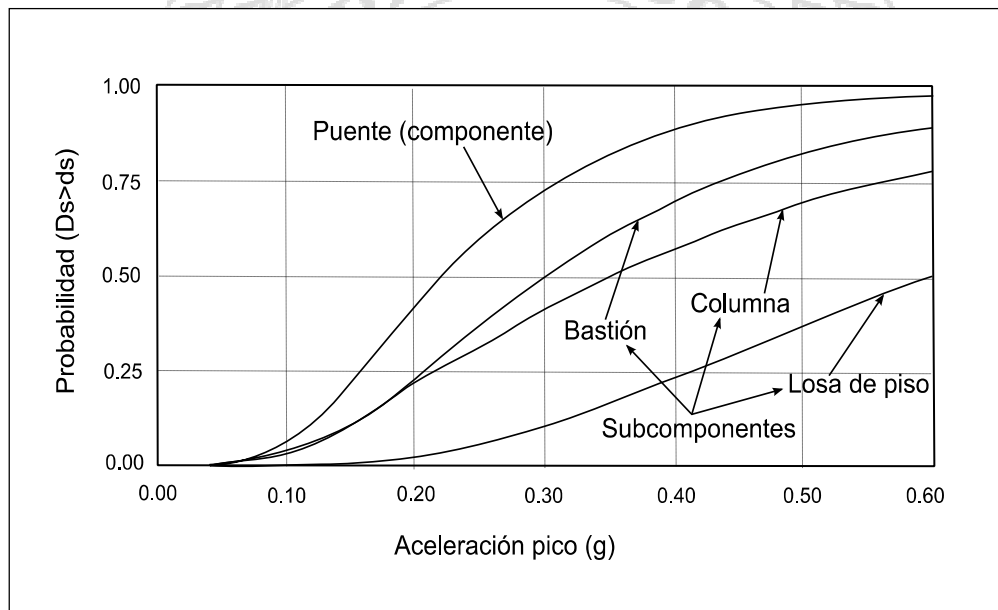


Figura 1. Relación entre la curva de fragilidad de un puente y las de sus componentes.
Fuente: Bravo y Calvo, 1997; adaptada de Castro, 2005.

Las curvas de fragilidad son la representación gráfica de las funciones de daño mostradas en el Cuadro 2 de acuerdo con la clasificación de los puentes y en función de la aceleración pico del terreno.

Cuadro 2. Valor medio de aceleración pico como función de los daños en los puentes.

Daño	Mediana de la aceleración pico del terreno (fracción de g)			
	Daño menor (ds2)	Daño moderado (ds3)	Daño generalizado (ds4)	Daño total (ds5)
HBR1	0,38	0,46	0,64	1,50
HBR2	0,32	0,43	0,55	1,25
HBR3	0,28	0,42	0,55	1,20
HBR4	0,18	0,37	0,48	0,90
HBR5	0,22	0,34	0,39	0,85
HBR6	0,11	0,22	0,26	0,60
HBR7	0,30	0,37	0,50	1,20
HBR8	0,26	0,34	0,44	1,00
HBR9	0,22	0,34	0,44	0,96
HBR10	0,14	0,30	0,38	0,72
HBR11	0,18	0,27	0,31	0,68
HBR12	0,09	0,18	0,21	0,48

Fuente: Castro, 2005.

El Cuadro 3 resume los criterios de vulnerabilidad para puentes según el daño asignado para las aceleraciones esperadas para periodos de retorno de 100 y 500 años.

Cuadro 3. Criterios de vulnerabilidad para puentes.

Tipo de daño según metodología de RMS	Daño asignado (T = 100 años)	Daño asignado (T = 500 años)	Vulnerabilidad
		Generalizado	Generalizado
Moderado		Generalizado	Alta
Moderado		Moderado	Media
Moderado		Menor	Baja
Menor		Menor	Muy baja

Fuente: Vargas, 2005; Castro, 2005.



4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN UTILIZADA EN ESTE ESTUDIO

Para el desarrollo de este estudio el 19 de noviembre de 2009, el 20 de enero de 2010 y el 18 de febrero de 2010 técnicos e ingenieros del LanammeUCR recorrieron el tramo analizado para recopilar información de los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo, y el Paso Superior sobre la Ruta Nacional 23 (PSSR23). En dichos recorridos se revisó el estado de los componentes estructurales de estas estructuras.

4.1. Vulnerabilidad de puentes

En el trazado del tramo evaluado se analizaron los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo, y el Paso Superior sobre la Ruta Nacional 23 (PSSR23) mediante la metodología descrita en el apartado 3. Se presentan a continuación los resultados obtenidos.

4.2. Puentes evaluados

Se evaluaron los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo, y el Paso Superior sobre la Ruta Nacional 23 (PSSR23) tomando en consideración sus características estructurales y utilizando mapas de aceleraciones, según la amenaza sísmica, para periodos de retorno de 100 y 500 años, este último valor como revisión según la última versión del Código Sísmico de Costa Rica (2002). (Ver Figuras 2, 3, 4 y 5).

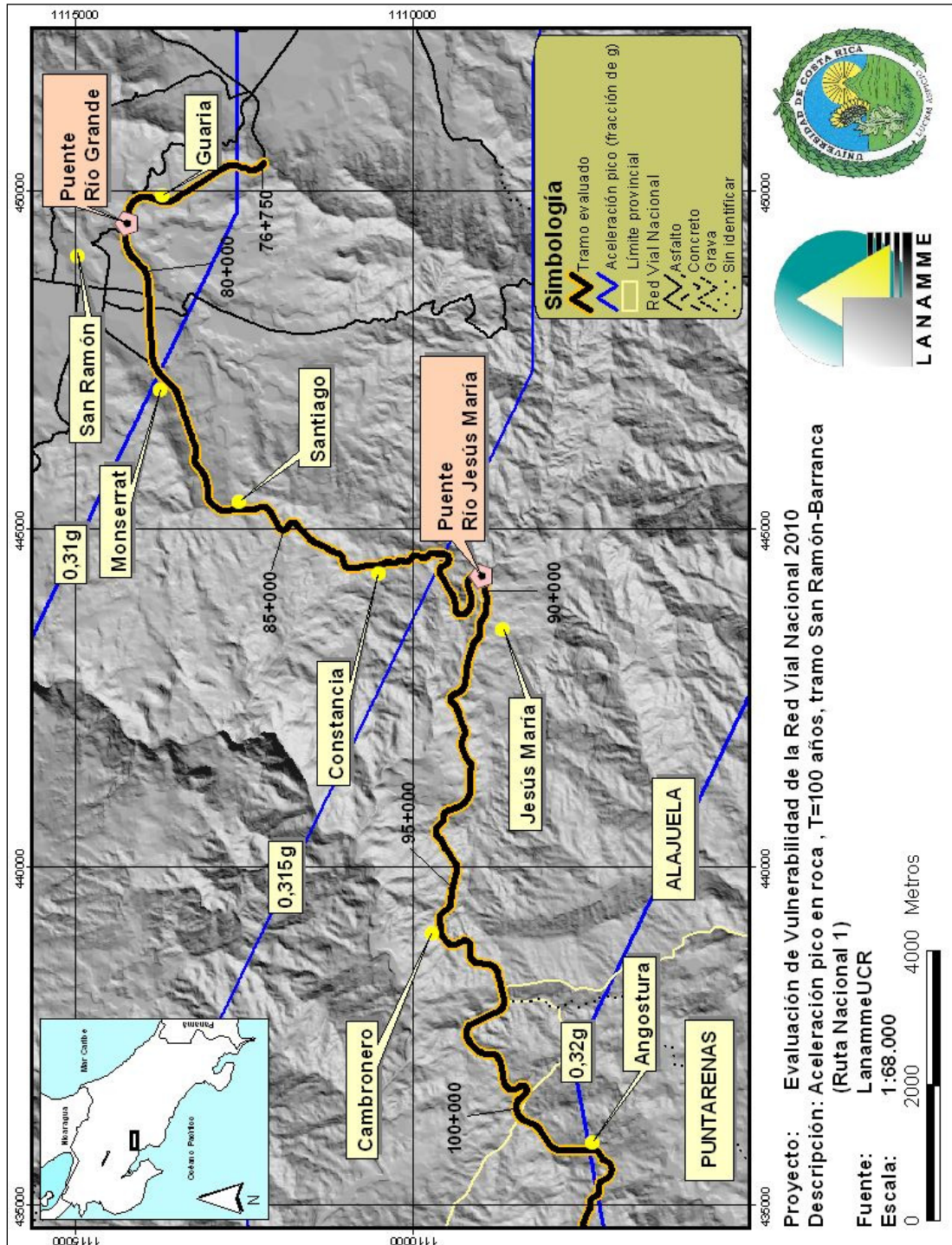


Figura 2. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 100 años. Elaborador por LanammeUCR (2010).

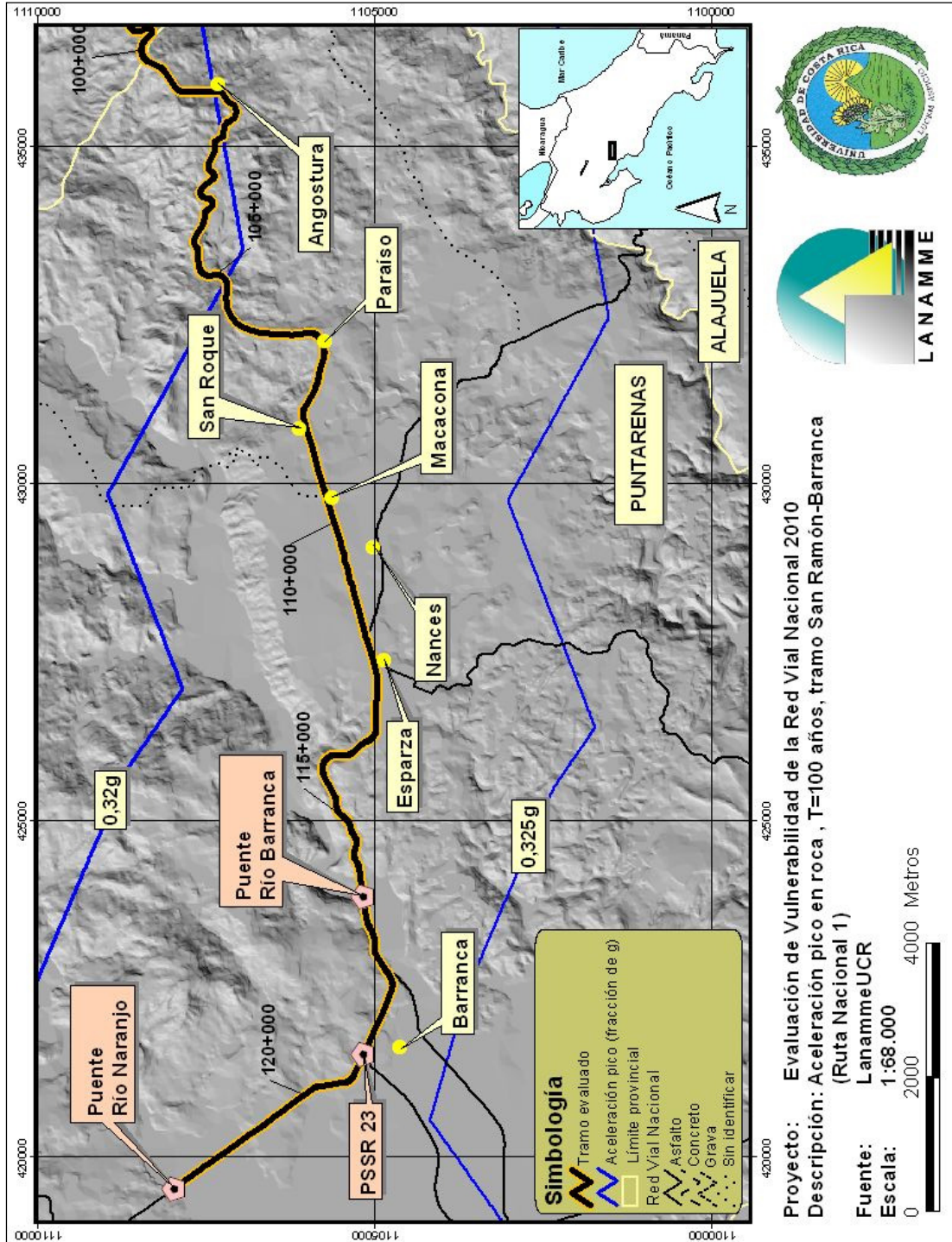


Figura 3. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 100 años. Elaborado por LanammeUCR (2010).

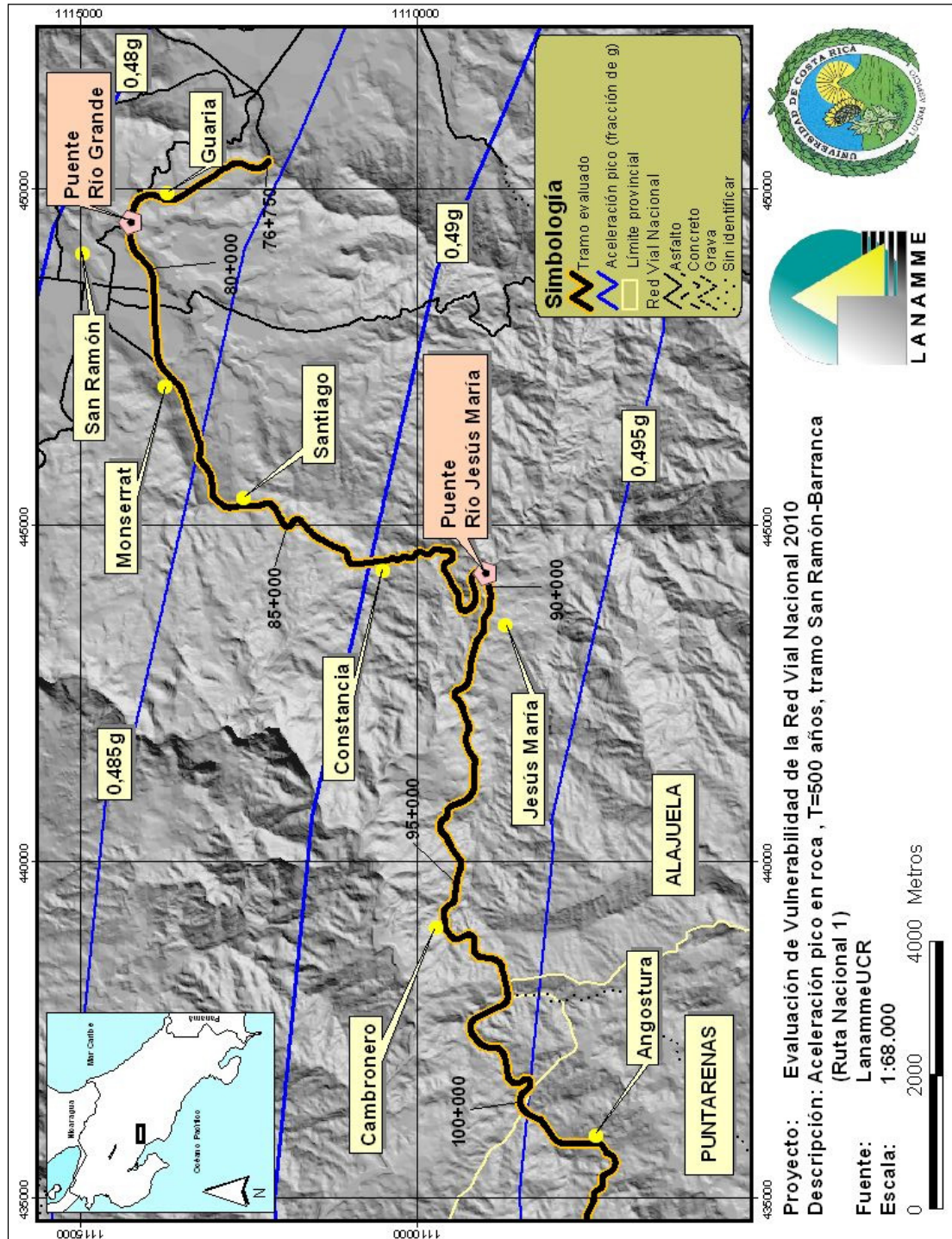


Figura 4. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 500 años. Elaborado por LanammeUCR (2010).

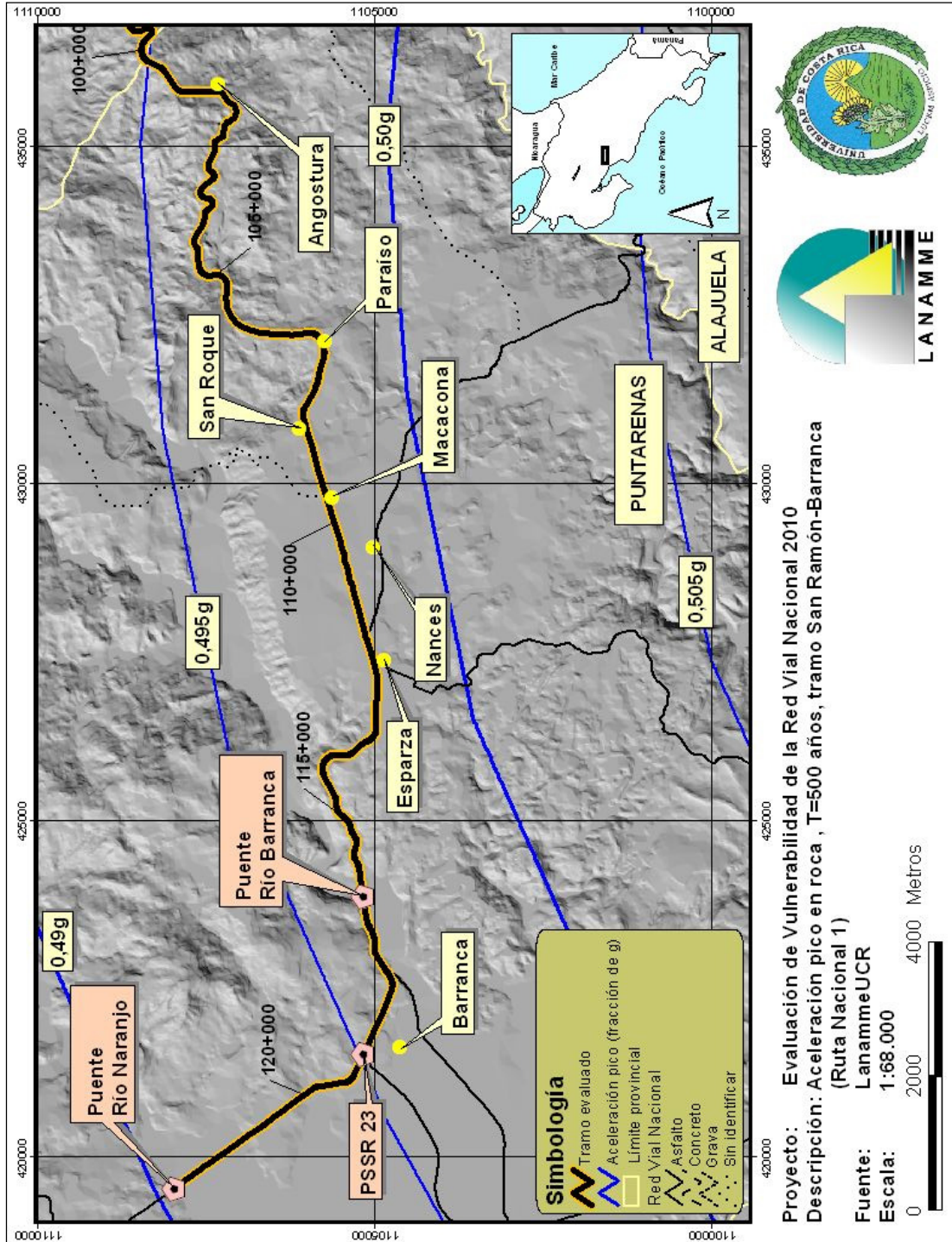


Figura 5. Mapa de aceleración pico en roca para un periodo de retorno de 500 años. Elaborado por LanammeUCR (2010).

En las Cuadros 4 a 8 se muestran las características utilizadas para evaluar cada puente.

Cuadro 4. Características del puente sobre el Río Grande.

Característica	Puente Río Grande
Ruta	1
Fecha de construcción	1966 ¹⁰
T.P.D.	11340 ¹¹
Longitud	46 m
Material	Concreto
Tipo de estructura	Vigas continuas de sección variable
Tipo	Puente menor de 150 m, continuo y monolítico
Diseño	Puente con diseño convencional: sin tomar en cuenta los criterios de diseño sísmoresistente
Aceleración	0,29g – 0,34g (T=100 años) 0,44g – 0,49g (T=500 años)
Riesgo	Alto riesgo
Clasificación	HBR10

^{10, 11} Fuente: Base de datos del Mopt.



Fotografía 1. Puente sobre el Río Grande.
Estado del puente al 19 de noviembre de 2009. (LanammeUCR, 2009).

Cuadro 5. Características del puente sobre el Río Jesús María.

Característica	Puente Río Jesús María
Ruta	1
Fecha de construcción	No disponible
T.P.D.	4850 ¹²
Longitud	11 m ¹³
Material	Concreto
Tipo de estructura	Arco
Tipo	Puente menor de 150 m, continuo
Diseño	Puente con diseño convencional: sin tomar en cuenta los criterios de diseño sismorresistente
Aceleración	0,29g – 0,34g (T=100 años) 0,49g – 0,54g (T=500 años)
Riesgo	Alto riesgo
Clasificación	HBR10

^{12,13} Fuente: Base de datos del Mopt.



Fotografía 2. Puente sobre el Río Jesús María.
Estado del puente al 20 de enero de 2010. (LanammeUCR, 2010).

Cuadro 6. Características del puente sobre el Río Barranca.

Característica	Puente Río Barranca
Ruta	1
Fecha de construcción	1944 ¹⁴
T.P.D.	7655 ¹⁵
Longitud	96 m
Material	Concreto y acero
Tipo de estructura	Vigas continuas y cerchas
Tipo	Puente menor de 150 m, puente simplemente apoyado con una o varias luces
Diseño	Puente con diseño convencional: sin tomar en cuenta los criterios de diseño sísmoresistente
Aceleración	0,29g – 0,34g (T=100 años) 0,49g – 0,54g (T=500 años)
Riesgo	Alto riesgo
Clasificación	HBR12

^{14, 15} Fuente: Base de datos del Mopt.



Fotografía 3. Puente sobre el Río Barranca.
Estado del puente al 19 de noviembre de 2009. (LanammeUCR, 2009).

Cuadro 7. Características del puente sobre el Río Naranjo.

Característica	Puente Río Naranjo
Ruta	1
Fecha de construcción	1944 ¹⁶
T.P.D.	4850 ¹⁷
Longitud	31 m
Material	Acero y concreto
Tipo de estructura	Vigas I continuas
Tipo	Puente menor de 150 m, continuo
Diseño	Puente con diseño convencional: sin tomar en cuenta los criterios de diseño sismorresistente
Aceleración	0,29g – 0,34g (T=100 años) 0,49g – 0,54g (T=500 años)
Riesgo	Alto riesgo
Clasificación	HBR10

^{16, 17} Fuente: Base de datos del Mopt.



Fotografía 4. Puente sobre el Río Naranjo.
Estado del puente al 19 de noviembre de 2009. (LanammeUCR, 2009).

Cuadro 8. Características del Paso Superior Sobre Ruta Nacional 23.

Característica	Paso Superior sobre Ruta Nacional 23
Ruta	1
Fecha de construcción	No disponible
T.P.D.	4850 ¹⁸
Longitud	40 m ¹⁹
Material	Concreto
.Tipo de estructura	Viga tipo cajón simplemente apoyada
Tipo	Puente menor de 150 m, puente simplemente apoyado con una o varias luces
Diseño	Puente con diseño sismo resistente: diseñado con los criterios sismorresistentes de códigos modernos, o reforzado para cumplir con tales características
Aceleración	0,29g – 0,34g (T=100 años) 0,49g – 0,54g (T=500 años)
Riesgo	Bajo riesgo
Clasificación	HBR5

^{18, 19} Fuente: Base de datos del Mopt.



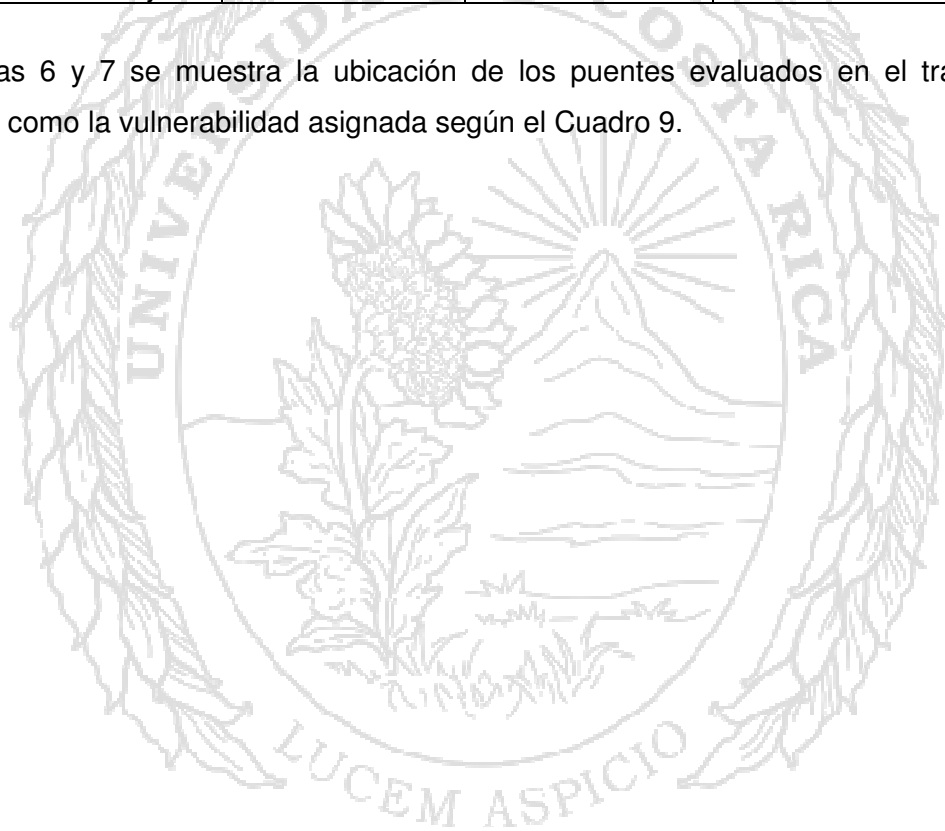
Fotografía 5. Paso Superior Sobre Ruta 23.
Estado del paso superior al 20 de enero de 2010. (LanammeUCR, 2009).

Según los criterios del Cuadro 9 y con base en los resultados del análisis de amenaza sísmica, a los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo, y al Paso Superior sobre la Ruta Nacional 23 (P.S.S.R. 23) se les asignó una vulnerabilidad alta, alta, muy alta, alta y alta respectivamente.

Cuadro 9. Daño asignado a los puentes evaluados.

Puente	Clasificación	Daño asignado (T = 100 años)	Daño asignado (T = 500 años)
Río Grande	HBR10	Moderado	Generalizado
Río Jesús María	HBR10	Moderado	Generalizado
Río Barranca	HBR12	Generalizado	Total
P.S.S.R. 23	HBR5	Moderado	Generalizado
Río Naranjo	HBR10	Moderado	Generalizado

En la figuras 6 y 7 se muestra la ubicación de los puentes evaluados en el tramo bajo estudio, así como la vulnerabilidad asignada según el Cuadro 9.



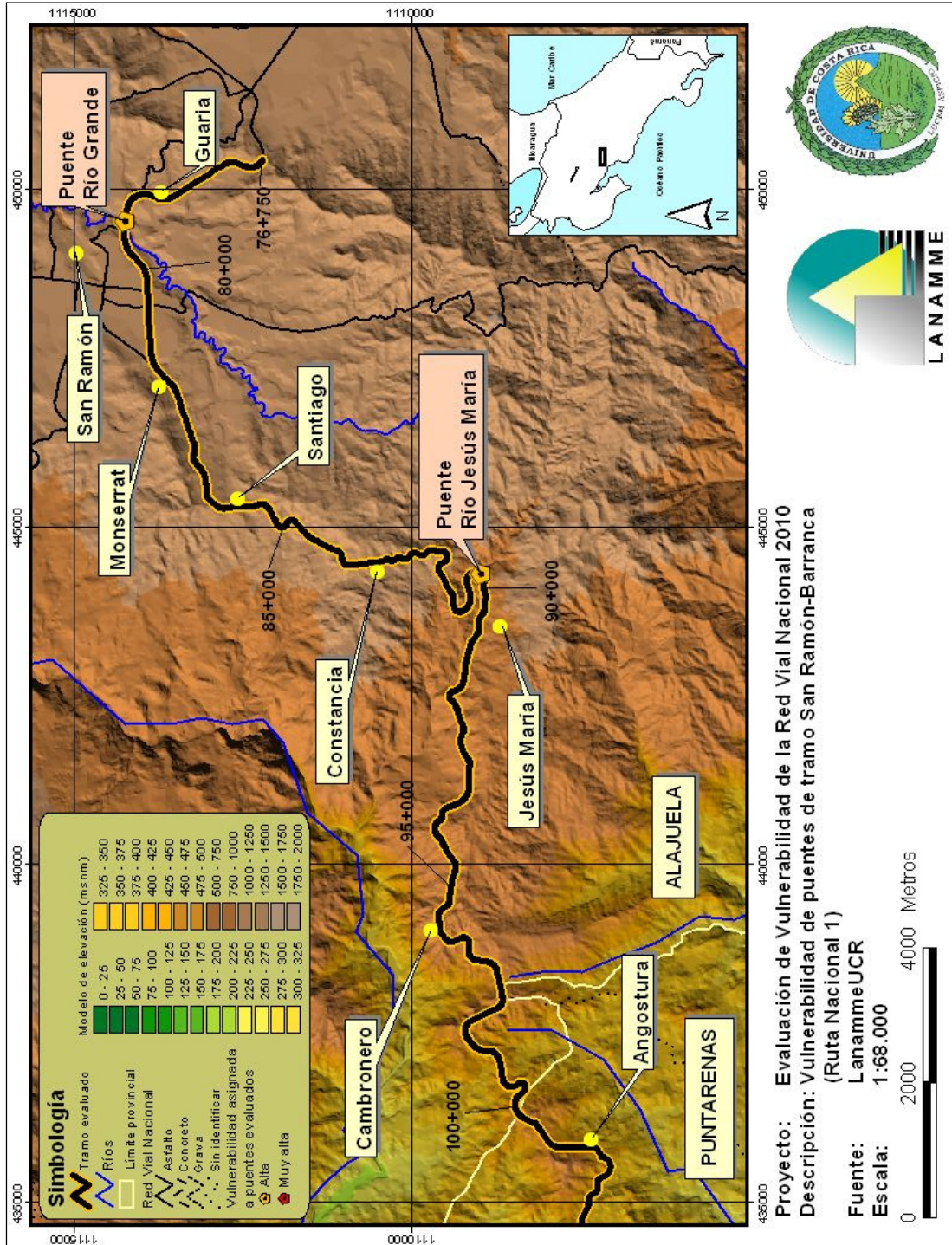


Figura 6. Vulnerabilidad de puentes en tramo analizado.
(LanammeUCR, 2010).

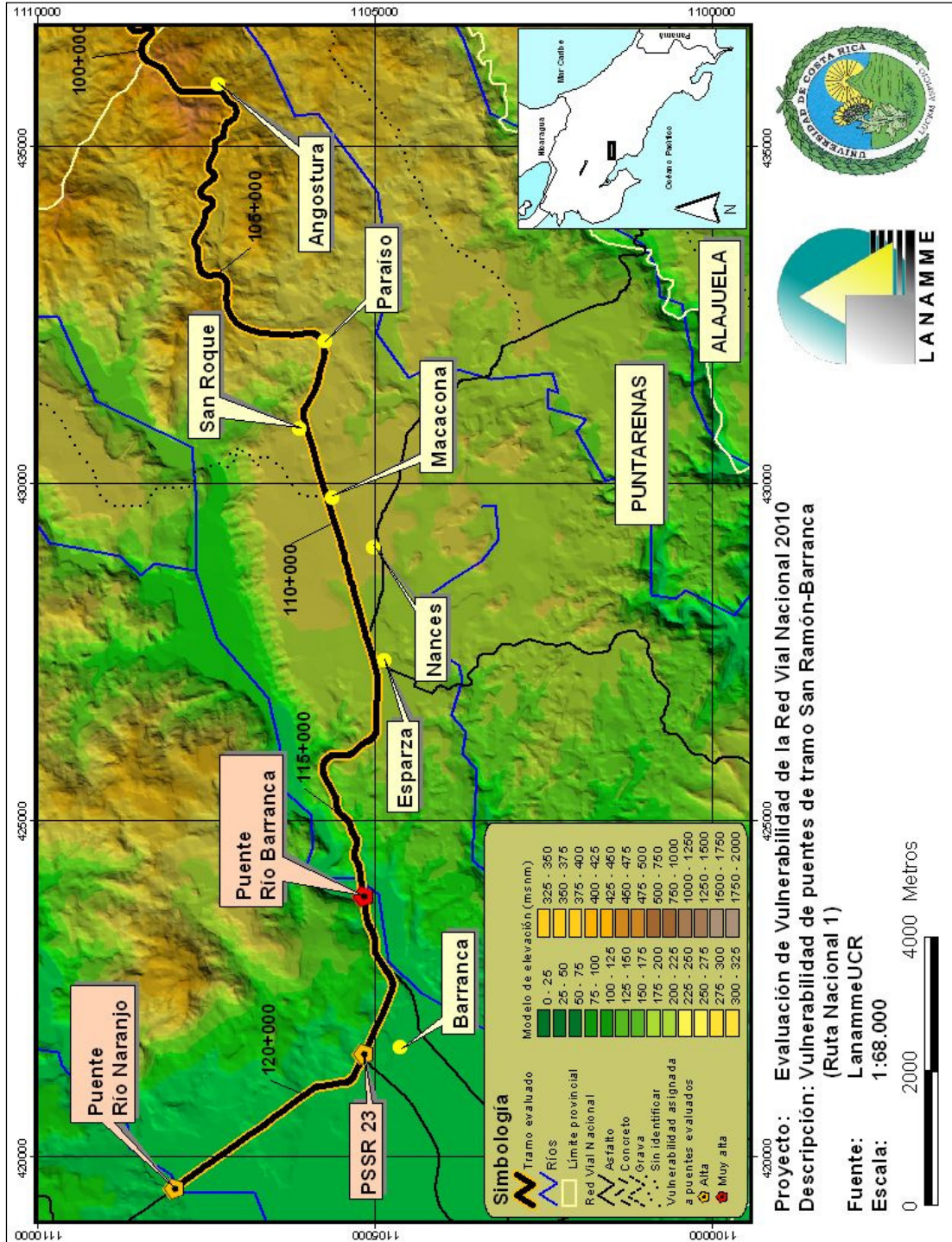


Figura 7. Vulnerabilidad de puentes en tramo analizado.
(LanammeUCR, 2010).



5. CONCLUSIONES

Según el resultado obtenido para los puentes sobre los ríos Grande, Jesús María, Barranca y Naranjo y el P.S.S.R. 23 a partir de la aplicación de la metodología RMS, se puede concluir que estos podrían sufrir un daño moderado, moderado, generalizado, moderado y moderado respectivamente para un periodo de retorno de 100 años, y generalizado, generalizado, total, generalizado y generalizado respectivamente para un periodo de retorno de 500 años.

6. RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de los puentes, se plantea la necesidad de que la Administración realice de forma oportuna al menos las siguientes recomendaciones:

1. Analizar las adecuaciones estructurales que se le pudieran realizar a los puentes para disminuir su vulnerabilidad ante amenaza sísmica.
2. Como parte de los programas de mantenimiento de puentes, implementar un programa de limpieza de basura y desechos en la subestructura (i.e., bastiones y pilas), con la meta de mitigar y prevenir cualquier proceso de socavación.
3. Considerar en los procesos de diseño de puentes, cuando así se requiera según lo indiquen los estudios hidrológicos que se realicen, medidas contra la inestabilidad de cauces y protección de márgenes con el fin de mitigar el daño que la erosión de los bancos laterales y los procesos de agradación y degradación puedan tener sobre la estructura del puente.

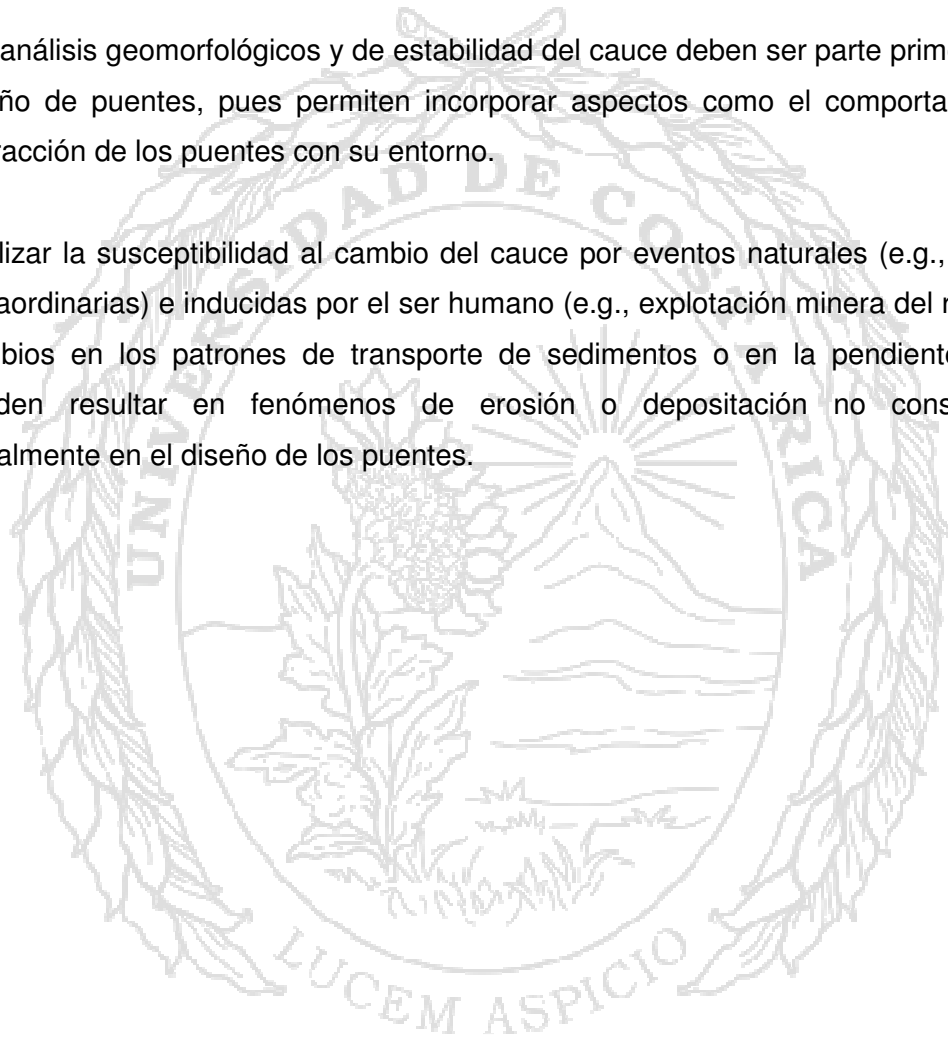
Entre las medidas de protección se pueden utilizar diques de control, bancos guía, muro de gaviones, enrocados de pilas y bastiones, entre otros. La solución que se elija deberá tener un respaldo técnico que asegure que dicha solución es la óptima, y no utilizar otras soluciones como simple receta.



4. Aspectos como el alineamiento y emplazamiento en proyectos futuros se recomiendan sean considerados en las etapas de estudios preliminares, conceptualización y diseño final de puentes con el fin de evitar problemas de estabilidad en curvas y recodos de los ríos, así como fenómenos de depositación y erosión en puntos de confluencia.

Los análisis geomorfológicos y de estabilidad del cauce deben ser parte primordial del diseño de puentes, pues permiten incorporar aspectos como el comportamiento e interacción de los puentes con su entorno.

5. Analizar la susceptibilidad al cambio del cauce por eventos naturales (e.g., crecidas extraordinarias) e inducidas por el ser humano (e.g., explotación minera del río), pues cambios en los patrones de transporte de sedimentos o en la pendiente del río pueden resultar en fenómenos de erosión o depositación no considerados inicialmente en el diseño de los puentes.





7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bravo, A. & Calvo, M. (1997). *Evaluación del impacto sobre la red vial de un terremoto en la Península de Nicoya*. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
2. Castro, K. (2005). *Vulnerabilidad física de la infraestructura vial en las rutas 130, 712, 146, 120 y 126 tramo Alajuela-Fraijanes-Vara Blanca-San Miguel de Sarapiquí*. Informe final de Proyecto de Graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
3. Chacón, G. (2000). *Zonificación de la amenaza en la Carretera Interamericana Sur por deslizamiento de suelo y roca asociados con lluvia intensa y sismo*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.
4. Comité Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica, Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2002). *Código Sísmico de Costa Rica 2002*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
5. Federal Highway Administration & Salas, R. (1999). *Estabilidad de cauce y socavación en puentes*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
6. Garro, J. (2002). *Zonificación combinada de amenazas naturales para infraestructura, en las cuencas de las ciudades de Cartago y Paraíso, Valle Central Oriental de Costa Rica*. Informe final de Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.



7. LanammeUCR. (Sin fecha). *Evaluación de la vulnerabilidad en rutas nacionales*. San José, Costa Rica: el autor.
8. Navarro, E. (2004). *Susceptibilidad ante amenazas naturales de la subcuenca del Río General, Pérez Zeledón, Costa Rica*. Informe final de proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
9. Vargas, W. & Garro, J. (2003). *Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
10. Vargas, W. & Garro, J. (2008). *Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña de Costa Rica*. Costa Rica: I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV).
11. Vargas, W. & Garro, J. (sin fecha). *El ángulo crítico de la pendiente y la susceptibilidad a deslizamientos de laderas naturales*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.
12. Vega, José M. (2004). *Evaluación de la vulnerabilidad del puente sobre el Río Chirripó ante las amenazas de socavación e inestabilidad del cauce*. Informe final del Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil.