



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Riesgo Probabilista e Infraestructura Vial

Análisis de Pérdida Anual Esperada (PAE) e impacto del cambio climático

Ruta Nacional N°34 Costanera Sur Pozón-Palmar Norte

Equipo técnico

Ing. Roy Barrantes Jiménez

Geo. Paulo Ruiz Cubillo

Ing. Pablo Agüero Barrantes

Funcionarios UGERVN

INGENIAR - CIMNE



Factores de éxito Iniciativa Global Risk Modelling Alliance (GRMA) – Costa Rica

1. Implantar una metodología que sea oficial y que estandarice y homogenice el análisis de Riesgo para distintos activos estatales.

2. Reproducible

Accesibilidad a la data del país.

Capacidad técnica y tecnológica para transformar datos en información.

3. Escalable

Utilidad.

Recursos.

Actualización permanente.



LA METODOLOGÍA ES REPRODUCIBLE?

**Plan piloto de reproducibilidad.
Corredor ruta 34, Costanera Sur**

Plan piloto de reproducibilidad. Corredor ruta 34, Costanera Sur

DATOS GENERALES DE LA RUTA BAJO ESTUDIO:

RUTA NACIONAL 34

SIMBOLOGÍA

— RUTA NACIONAL 34

□ CANTONES

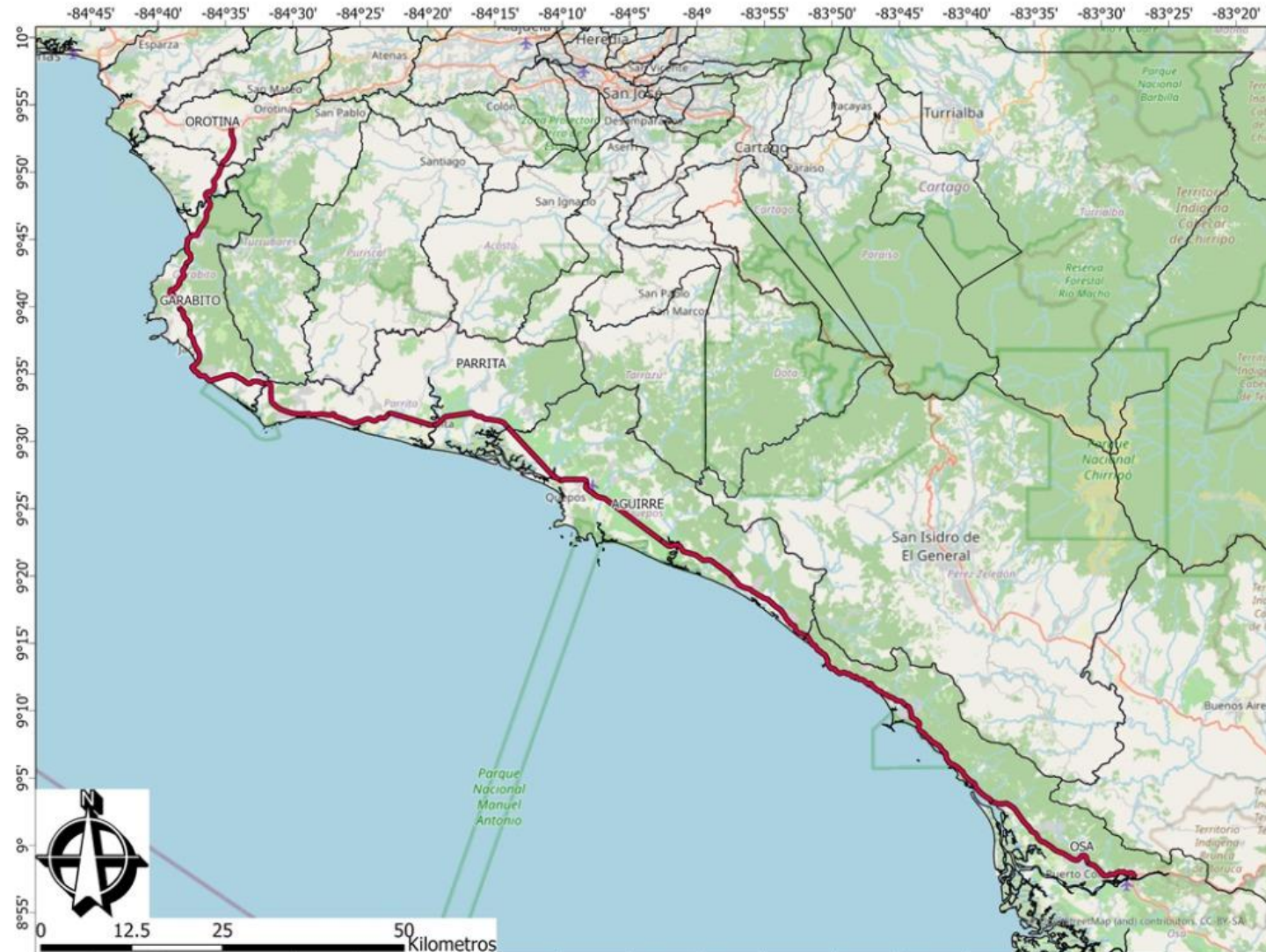
COORDENADAS EN SISTEMA WGS-84

UBICACIÓN EN COSTA RICA



LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



LONGITUD

202.56 KM

TIPO DE SUPERFICIE

PAVIMENTO
ASFÁLTICO

CANTIDAD DE PUENTES

92

NÚMERO DE CARRILES

87% - 2 CARRILES
12% - 3 CARRILES
1% - 4 CARRILES

TPDA

VARIABLE ENTRE
3797 Y 27689

CLASIFICACIÓN SEGUN PNT

RED DE ALTA CAPACIDAD

AMENAZAS A LAS QUE ESTÁ EXPUESTA

- SISMO
- INUNDACION PLUVIAL
- INUNDACION FLUVIAL
- DESLIZAMIENTO POR SISMO
- DESLIZAMIENTO POR LLUVIA

El reto de reproducir la metodología. Corredor ruta 34, Costanera Sur



El reto de reproducir la metodología. Corredor ruta 34, Costanera Sur

Actividad	Descripción
Modelo de clima	Se refiere a la modelación de forzamiento meteorológico y la incorporación de proyecciones de cambio climático
Modelo nacional inundación	Se desarrollará un modelo de inundación nacional para ser aplicado en la modelación del portafolio vial completo.
Modelo susceptibilidad deslizamientos	Se desarrollará un modelo de susceptibilidad a los deslizamientos, compatible con la modelación del riesgo, a nivel nacional.
Modelos volcán	Se revisará la información disponible y se propondrán modelos aproximados de amenaza volcánica probabilista
Modelo amenaza sísmica	Se consultará la información disponible con el fin de obtener el mejor modelo de amenaza sísmica nacional disponible, que permita su directa aplicación en modelación catastrófica, tanto para este proyecto como para los otros proyectos que involucran riesgo sísmico.
Exposición Ruta nacional	Se conformará una base de elementos expuestos de tramos viales para la evaluación del riesgo.
Vulnerabilidad red vial	Se construirán modelos de vulnerabilidad vial en base a arquetipos de segmentos viales.
Evaluación del riesgo	Aplicación de las metodologías acá presentadas para evaluar el riesgo por medio de métricas actuariales de modelación catastrófica.
Evaluación determinista (stress-test)	Se reportarán los resultados de algunos eventos simulados de gran tamaño con el fin de ilustrar el estado de la infraestructura ante eventos extremos.
Calibración resultado	Se comparará la curva de excedencia de pérdidas analítica calculada con el modelo, con una construida a partir de información histórica de eventos previos para establecer su correspondencia.
Curva de inversión	Como valor agregado, se evaluarán una colección de acciones de gestión del riesgo con el fin de determinar la combinación óptima que permita reducir el riesgo para montos de inversión fijos y crecientes.
Evaluación resiliencia	Se evaluará la resiliencia de la infraestructura vial por medio de la incorporación de las capacidades del país para absorber, responder y recuperarse.



Base entregada por INGENIAR. Se debe mantener actualizada de forma permanente



Replicable para todo corredor vial con las herramientas suministradas.



Replicables a futuro por medio de investigación, recursos y experiencia.

Los resultados obtenidos. Corredor ruta 34, Costanera Sur

RN34 — VÍAS

Portafolio Vial de la RN34

Valor expuesto: **₡22 687 500 000**

Desliz. por Lluvia (Dominante)

0.683‰ · **₡15 490 356** en clima base → hasta **0.986‰** · **₡22 376 228** en 2100 (GFDL-SSP1)

Inundación pluvial

0.199‰ · **₡4 511 305** — segunda segunda amenaza más relevante; relevante; refleja sensibilidad al al drenaje superficial.

Otras amenazas

Inundación fluvial **0.092‰**, desliz. por sismo **0.130‰**, sismo directo **0.08‰** (menor contribución).



RN34 — PUENTES

Portafolio de Puentes de la RN34

Valor expuesto: **₡76 750 942 912**

Desliz. por lluvia (dominante)

0.235% · ₡18 051 932 en clima base →
0.31% · ₡24 153 638 en 2100

Sismo

0.08% · ₡6 288 657 — incidencia
mucho menor que en la RN2

Inundación fluvial

0.002% · ₡146 884 — prácticamente
marginal

Inundación pluvial

0% en todos los escenarios
presentados



Quebrada Palma



COMPARACIÓN RN2 VS. RN34

Portafolio Vial: Amenazas Dominantes

RN2

valor expuesto **€304 447 M**



1.64‰
desliz. lluvia



1.27‰
desliz. sismo



0.37‰
inundación fluvial



0.06‰
sismo

RN34

valor expuesto **€22 688 M**



0.683‰
desliz. lluvia



0.199‰
inundación pluvial



0.130‰
desliz. sismo



0.092‰
inundación fluvial

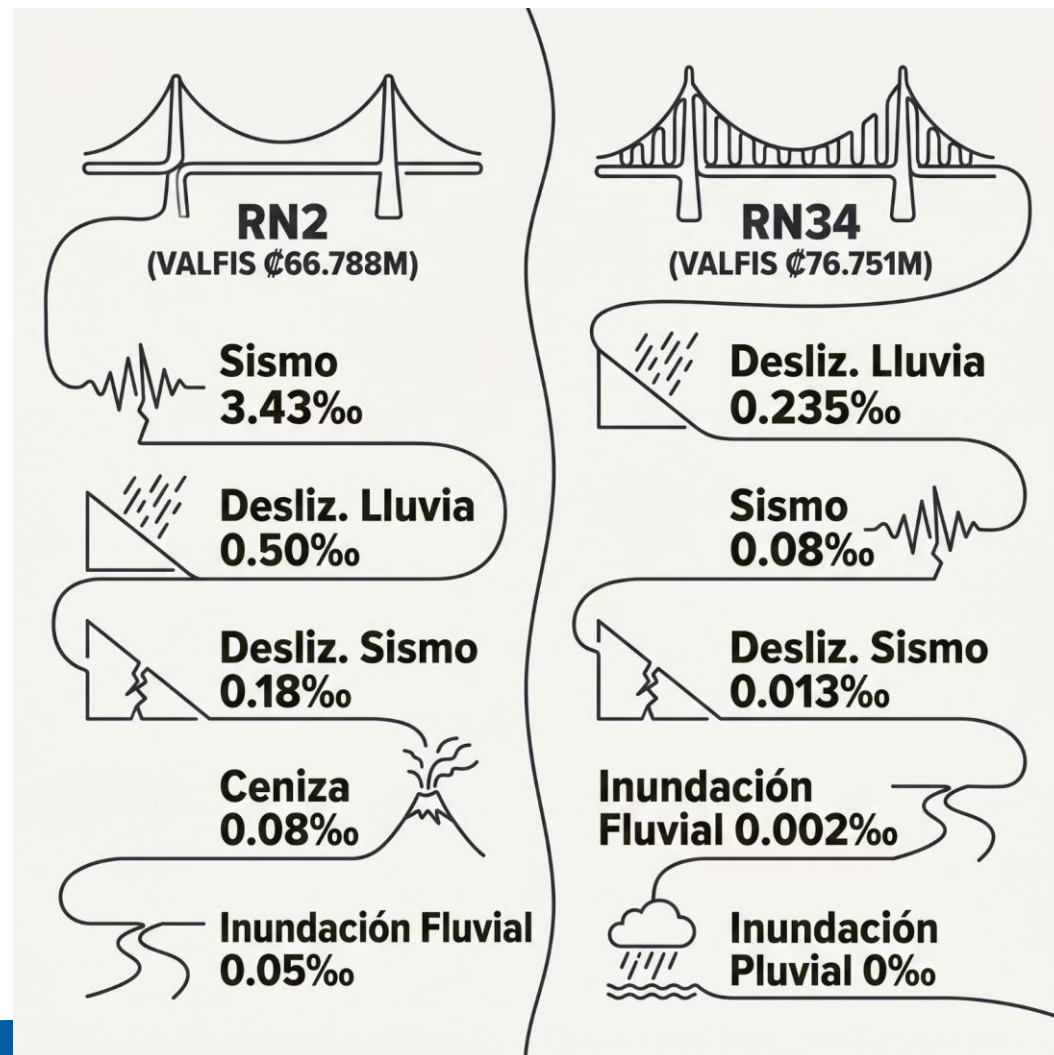


0.08‰
sismo

Hallazgos clave

- Amenaza dominante idéntica: **deslizamiento por lluvia** en ambas rutas
- RN2: PAE 1.64‰ base → 2.39‰ en 2100
- RN34: PAE 0.683‰ base → 0.986‰ en 2100
- RN34 presenta **inundación pluvial** como segunda amenaza, ausente con ese peso en RN2

Comparación de Puentes: RN2 vs. RN34



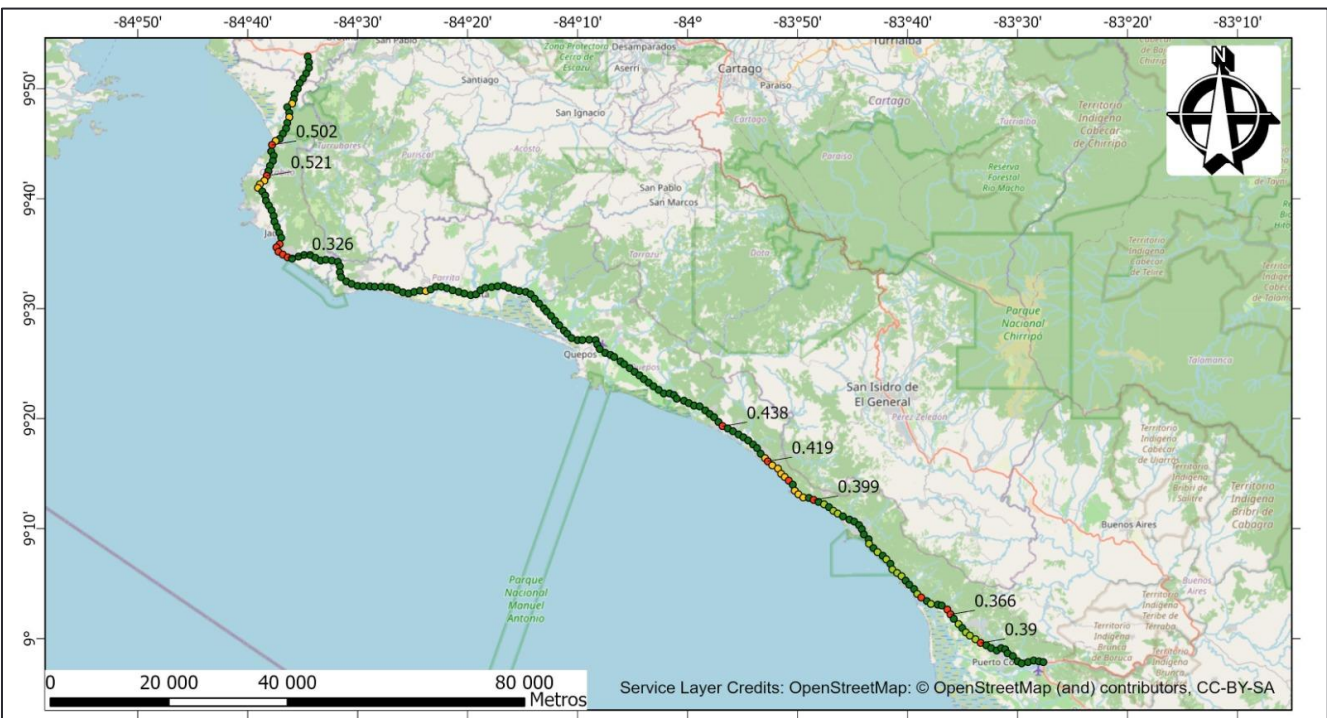
Diferencia estructural

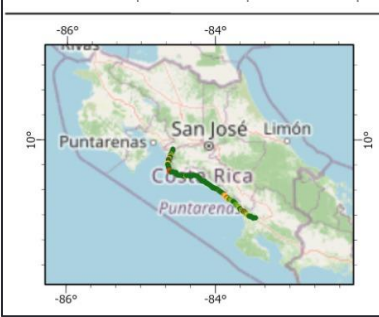
RN2 — Perfil riesgo sísmico

Sismo domina con **3.43‰** y **\$229 346 255**. Desliz. lluvia secundario: 0.50‰.

RN34 — Perfil geotécnico

Desliz. lluvia domina con **0.235‰** y **\$18 051 932**. Sismo secundario: 0.08‰.





RESULTADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO POR LLUVIA EN LA VÍA DE LA RUTA NACIONAL 34

ESCENARIO BASE



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



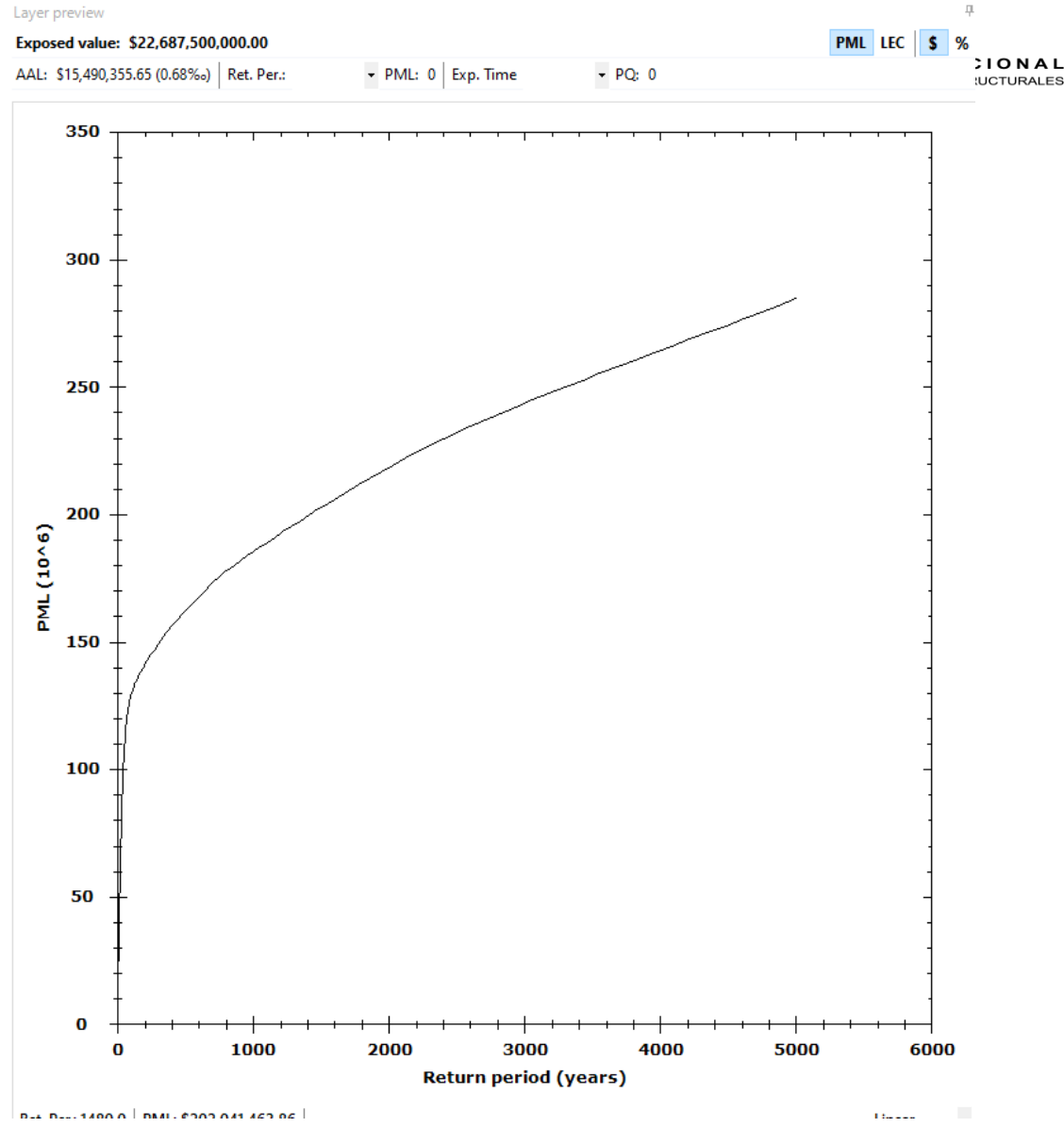
LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

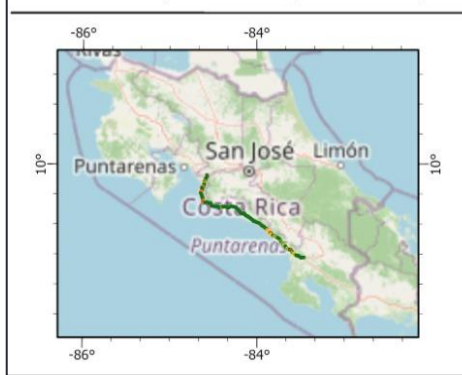
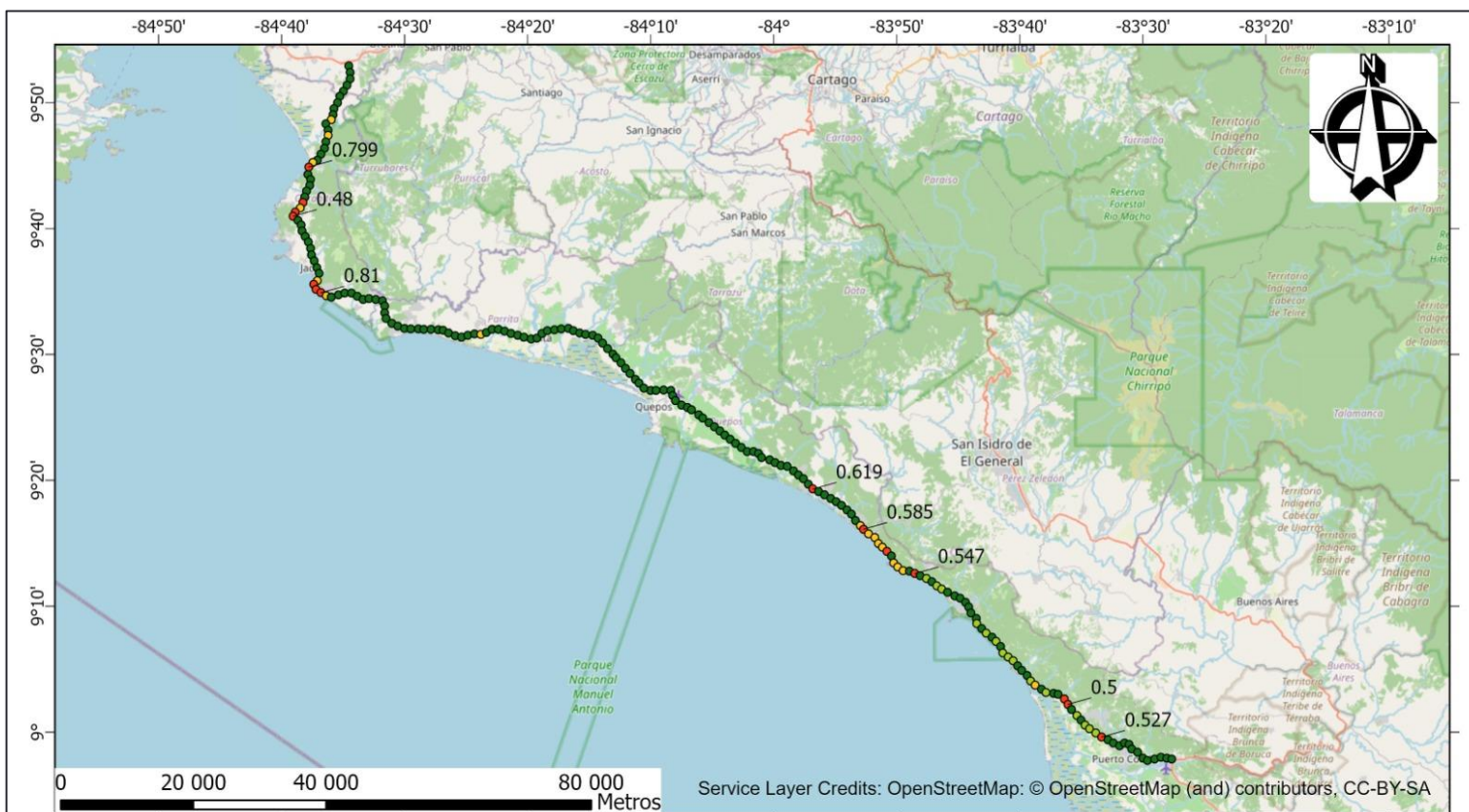
SIMBOLOGÍA

PAE(‰)

- 0.000
- 0.001 - 0.231
- 0.232 - 0.313
- 0.314 - 0.556

COORDENADAS EN SISTEMA WGS-84





RESULTADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO POR LLUVIA EN LA VÍA DE LA RUTA NACIONAL 34

ESCENARIO EN EL AÑO 2100

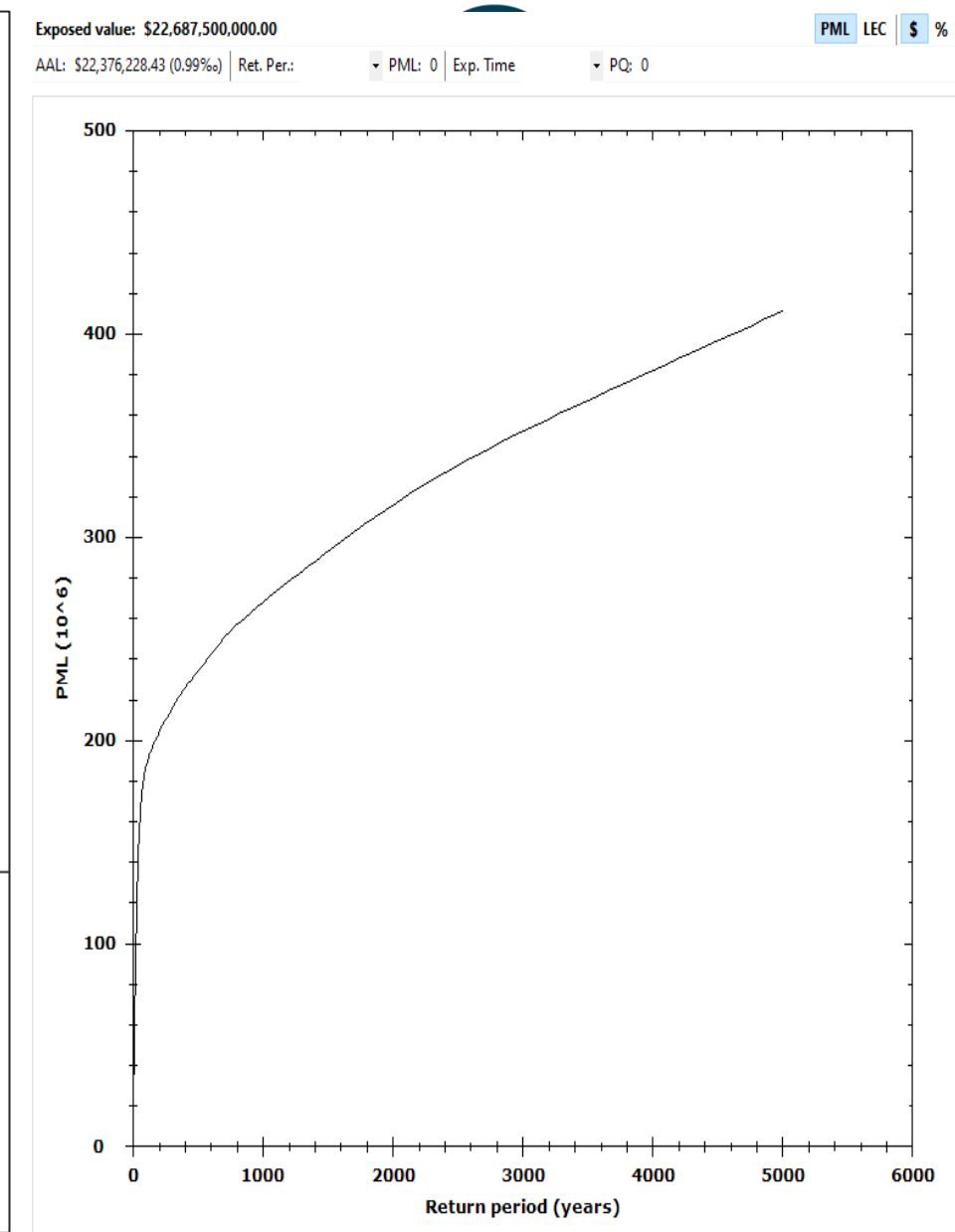


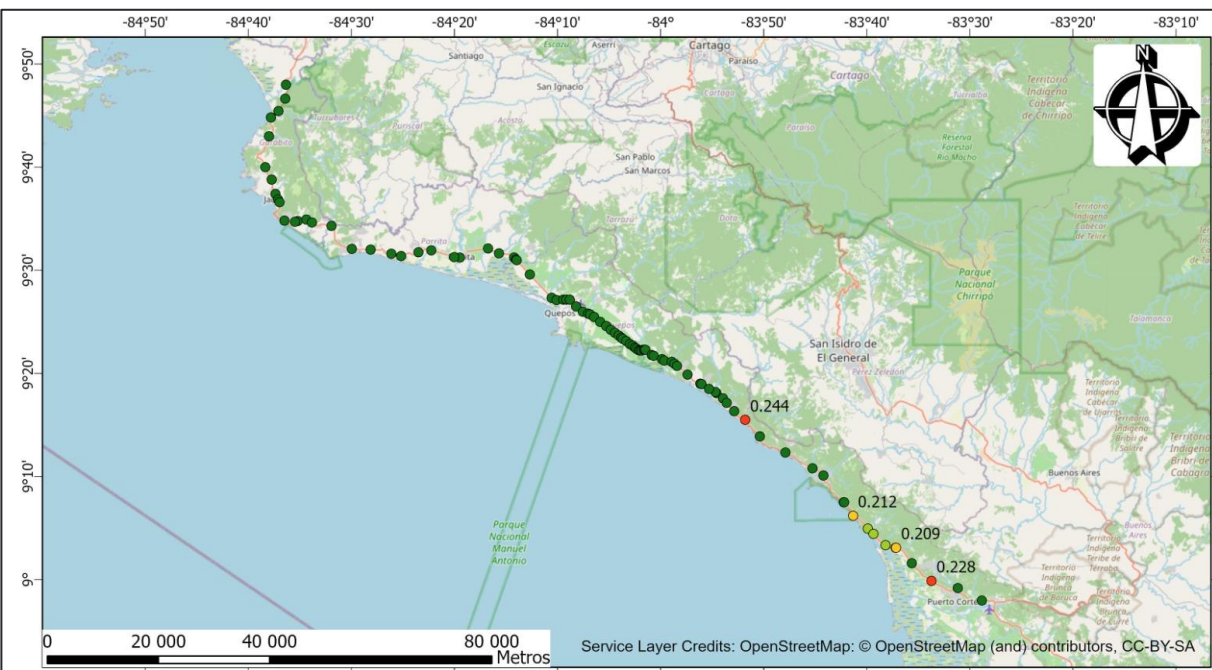
SIMBOLOGÍA

PAE(‰)

- 0.00000
- 0.001 - 0.316
- 0.317 - 0.477
- 0.478 - 0.810

COORDENADAS EN SISTEMA WGS-84





RESULTADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO POR LLUVIA EN LOS PUENTES DE LA RUTA NACIONAL 34

ESCENARIO BASE

 **UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

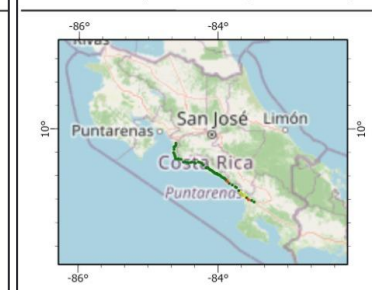
LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

SIMBOLOGÍA

PAE (‰)

- 0.00
- 0.001 - 0.208
- 0.209 - 0.212
- 0.213 - 0.244

COORDENADAS EN SISTEMA WGS-84



RESULTADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE LA AMENAZA DE DESLIZAMIENTO POR LLUVIA EN LOS PUENTES DE LA RUTA NACIONAL 34

ESCENARIO EN EL AÑO 2100

 **UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

SIMBOLOGÍA

PAE(‰)

- 0.00000
- 0.001 - 0.268
- 0.269 - 0.278
- 0.279 - 0.339

COORDENADAS EN SISTEMA WGS-84



Efecto del Cambio Climático

Vías RN34

Desliz. lluvia: **0.683‰** → **0.986‰**
hacia 2100 (GFDL-SSP1).
Incremento del 44%.

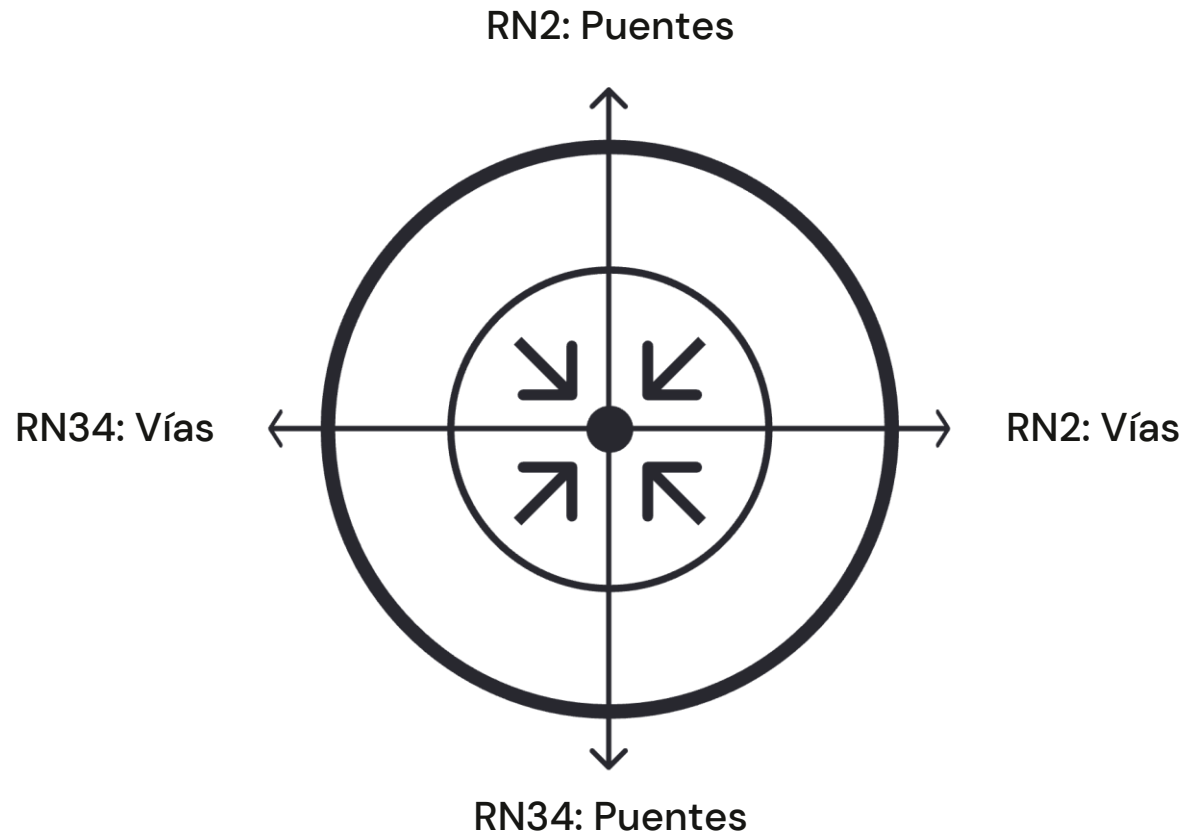
Puentes RN34

Desliz. lluvia: **0.235‰** → **0.31‰**
hacia 2100 (GFDL-SSP1).
Incremento del 32%.

Inundaciones

Variaciones más acotadas. Inundación pluvial en puentes permanece en **cero** permanece en **cero** en todos los escenarios.

Interpretación Técnica: Orientación de Intervenciones



El perfil de riesgo de cada corredor define estrategias de intervención diferenciadas.

RN2 — Puentes

Foco en **capacidad estructural** y **desempeño sísmico**.

RN34 — Puentes

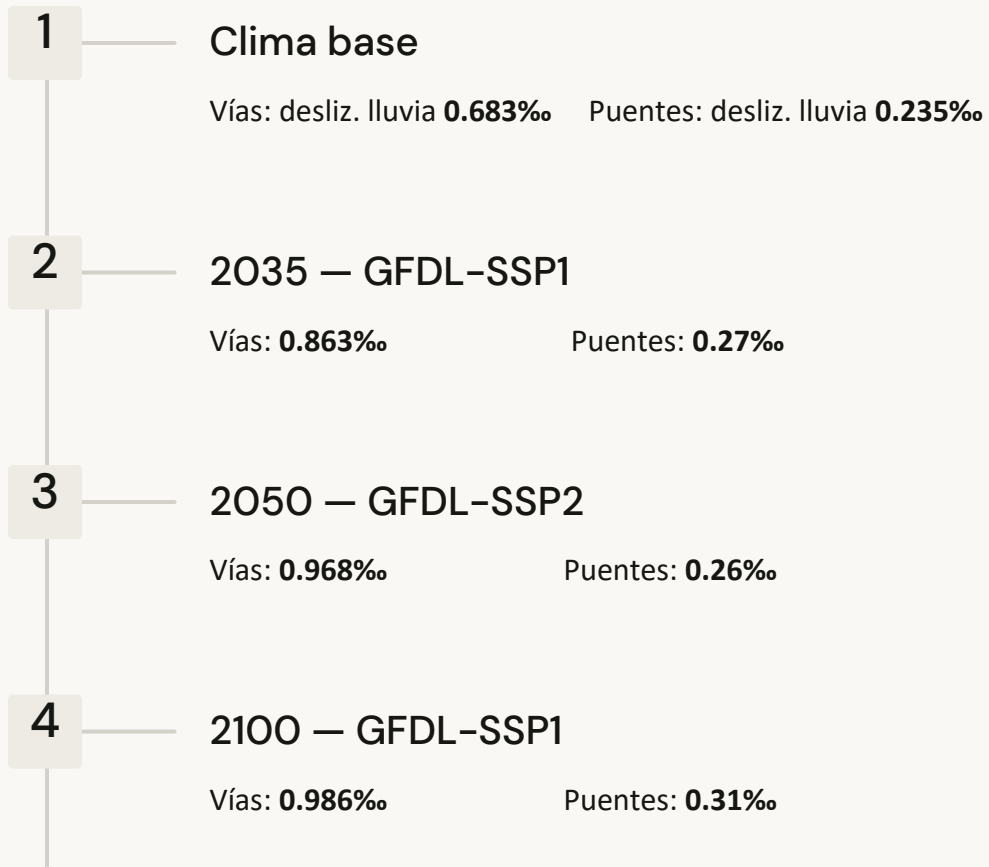
Énfasis en **estabilidad de márgenes**, **cimentaciones** **cimentaciones** y **manejo de escorrentía**.

RN34 — Vías

Gestión de **taludes**, **drenaje superficial** y **control de control de escorrentía local**.

⚠ No es adecuado extrapolar automáticamente el mismo patrón de de intervención entre corredores.

Efecto del Clima Futuro en la RN34



El cambio climático incrementa principalmente los deslizamientos por lluvia. Las inundaciones fluviales muestran variaciones acotadas; la inundación pluvial en puentes permanece en cero.





Conclusiones Preliminares

01

Amenaza dominante compartida

Los **deslizamientos por lluvia** dominan tanto vías como puentes en la RN34, al igual que en las vías de la en las vías de la RN2.

02

Puentes con perfiles opuestos

RN2 es **sísmico-estructural**; RN34 es **geotécnico-hidrometeorológico**. Estrategias no son intercambiables.

03

Inundación pluvial relevante en RN. 34

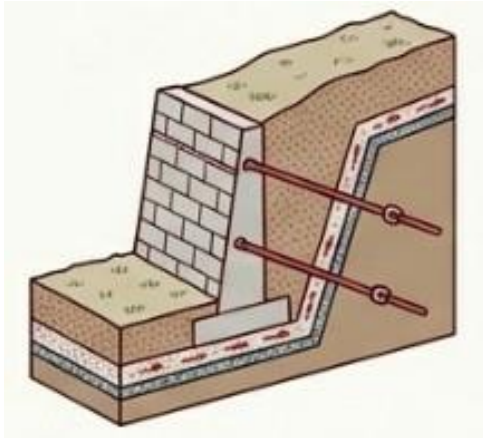
Segunda amenaza en vías de la RN34 (0.199‰), con mayor peso que en la RN2.

04

Cambio climático: prioridad en deslizamientos

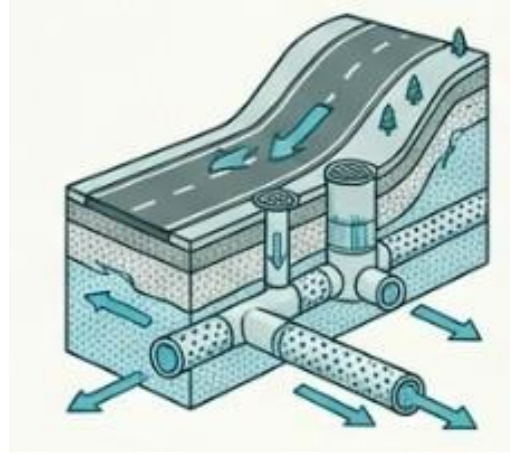
El clima futuro consolida los **deslizamientos por lluvia** como principal prioridad de gestión prospectiva prospectiva en la RN34.

Prioridades en la Gestión Integral del Riesgo



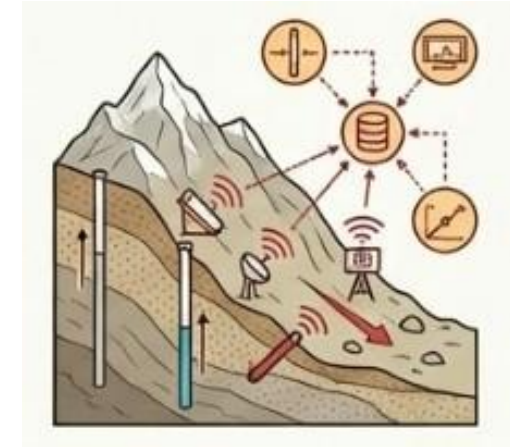
Estabilización de Taludes

Prioridad absoluta de inversión frente a las dinámicas de precipitación futura y el alto impacto de deslizamientos.



Mejora de Sistemas de Drenaje

Mitigación directa de la infiltración pluvial excesiva, la cual actúa como el detonante principal de fallas gravitacionales.



Monitoreo Geotécnico

Implementación de instrumentación y sistemas de alerta temprana en puntos críticos para prever fallas de laderas a gran escala.

Conceptos básicos en un enfoque de gestión



- Debe cumplir el marco regulatorio oficial existente que incorpore la Gestión del Riesgo dentro del desarrollo de la infraestructura.
DE-42465-MOPT-MINAE-MIVAH,
- Debe existir una metodología oficial, que estandarice el análisis del Riesgo en los activos.
- Costa Rica debe construir lo que pueda mantener (Análisis del ciclo de vida de los proyectos). Traslado de Riesgo $\neq$ Gestión del Riesgo.
- Costa Rica debe valorar la incorporación de instrumentos financieros que permitan rescatar la inversión en infraestructura en todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos.

¡Muchas gracias!