

Caracterización y análisis de riesgo de taludes carreteros en el sur de Durango, México

Characterization and risk analysis of road slopes in southern Durango, Mexico

DOI: <https://doi.org/10.62457/pvr64751>

Silvia Janeth Bejar Pulido
Instituto Tecnológico de El Salto
chivisjan@hotmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5163-704X>

Erik Orlando Luna Robles
Instituto Tecnológico de El Salto
eranroka@hotmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5133-0403>

Israel Cantú Silva
Universidad Autónoma de Nuevo León
icantu59@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8996-0881>

Tilo Gustavo Domínguez Gómez
Instituto Tecnológico de El Salto
Gustavo_dguezg@hotmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6106-007X>

José Encarnación Lujan Soto
Instituto Tecnológico de El Salto
jelujans@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9427-1909>

Recibido: 30 de junio 2025 - Aceptado: 27 de diciembre 2025

Publicado como artículo científico en BUIYYA TIERRA julio-diciembre 2025 Vol. 2 Núm. 4: pp. 69-88

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original.



Resumen

Las carreteras están expuestas a desprendimientos de rocas y deslizamientos de suelo, suponiendo un gran peligro para los automovilistas. Actualmente, se han propuesto sistemas de clasificación de riesgos cualitativos (QRS) para reducir las posibles consecuencias de desprendimientos de rocas, facilitando la información sobre los mismos. El objetivo del estudio fue caracterizar los taludes y analizar el riesgo de deslizamiento en el tramo carretero El Salto-La Rosilla a través del Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros (IGEcc), considerando las características del talud, clima y geología. En general, fue evaluado un transecto de 9.19 km de la carretera. En total fueron analizados y clasificados 45 cortes de talud en el transecto. El 28% fueron de baja inestabilidad, 36% media y 36% de alta inestabilidad. Los rangos del IGEcc oscilaron de 123 a 931, siendo los taludes 20 y 22 los de mayor y menor valor respectivamente. Se identificaron tres categorías de riesgo de inestabilidad según sus características (baja, media y alta) lo cual permite realizar diferentes recomendaciones de mejora en cada categoría; tales como cementación de la cara del talud, uso de mallas para retención de rocas y revegetación, en general cualquier obra reducirá la ocurrencia de deslizamientos y problemáticas socio ecológicas.

Palabras claves: *Carreteras, Deslizamientos, Estabilidad, Índice General de Estabilidad de Cortes Carreteros.*

Abstract

Roads are exposed to rockfalls and landslides, posing a significant hazard to motorists. Qualitative risk classification (QRS) systems have been proposed to reduce the potential consequences of rockfalls and facilitate information about them. The objective of the study was to characterize the slopes and analyze the landslide risk on the El Salto-La Rosilla highway section using the General Stability Index of Road Cuts (IGEcc), considering slope characteristics, climate, and geology. A transect of 9.19 km of road was evaluated. A total of 45 slope cuts were analyzed and classified along the transect. Twenty-eight percent were low instability, 36% were medium, and 36% were highly unstable. The IGEcc scores ranged from 123 to 931, with slopes 20 and 22 having the highest and lowest values, respectively. Three risk categories of instability were identified based on their characteristics (low, medium, and high), allowing for different improvement recommendations for each category. These include cementing the slope face, using rock-retaining mesh, and revegetation. In general, any work will reduce the occurrence of landslides and socio-ecological problems.

Keywords: *Roads, Landslides; Stability, General Index of Stability of Road Cuts.*

Introducción

Los deslizamientos de tierra provocan anualmente miles de muertes, asimismo pérdidas económicas significativas por daños y destrucción de viviendas e infraestructura, donde la mayoría de registros de estos eventos ocurren principalmente en las regiones de Asia, Sudamérica y Centroamérica (Dai, Lee & Ngai, 2002; Dixon, Smith & Pietzet, 2022). Charpentier (2024) define a un deslizamiento como resultado de la fuerza de gravedad que empuja en dirección descendente de la pendiente el cual puede ser causados por diferentes factores relacionados con aspectos naturales y actividad humana, Fidan, Tanyaş, Akbaş, Lombardo, Petley y Görümet (2024) señalan que los deslizamientos son potenciados por el cambio climático y la urbanización no planificada. En este sentido la precipitación es considerada como la principal influencia en la estabilidad de la pendiente debido a que la duración e intensidad de las lluvias modifica la capacidad de infiltración del suelo reduciendo su estabilidad con el tiempo de humectación (Li and Cai, 2021; He, Li & Du, 2023).

De acuerdo a Vergani, Chiaradiay Bischetti (2012), Stokes et al. (2014), Abdi (2018) y Bejar, Hernández, Cantú, González, Luna y Domínguez (2024) en México los fenómenos como desprendimientos, deslizamientos y aluviones se encuentran estrechamente relacionado con actividades antropogénicas como la construcción de caminos y urbanización ya que alteran la cobertura vegetal y características edáficas, que en conjunto definen la estabilidad de los taludes. Cabe señalar que en México se presentan todo tipo de fenómenos meteorológicos que aunado al relieve tan accidentado que se tiene, pueden propiciar la inestabilidad de los suelos (Mora-Ortiz y Rojas-González, 2012).

Por lo anterior señalar que el municipio de Pueblo Nuevo perteneciente al estado de Durango se encuentra situado en una región montañosa con un alto grado de afectación por la ocurrencia de desastres naturales (tormentas tropicales y huracanes) los cuales han provocado múltiples problemas sociales, económicos y ambientales en zonas rurales y urbanas del municipio (González-Elizondo, González-Elizondo, Tena-Flores, Ruacho- González y López-Enríquez, 2012; De la Rosa y Valdés-Rodríguez, 2021). En particular presenta una amplia red de caminos y carreteras los cuales son considerados como medios importantes para el desarrollo integral de las zonas rurales y urbanas. En este sentido Pantelidis (2010) señala que en pendientes adyacentes a caminos y carreteras la inestabilidad está sujeta a la variabilidad de ocurrencia e intensidad de fenómenos meteorológicos por lo que muchas vías demandan atención la mayor parte del año para estar en buenas condiciones y ser transitables generando costos de mantenimiento excesivos.

Las carreteras suelen estar expuestas a desprendimientos de rocas y ocurrencia de deslizamientos por lo que supone son un gran peligro para los automovilistas. Debido a lo anterior, en las dos últimas décadas, se han propuesto varios sistemas de evaluación

del riesgo de inestabilidad de pendientes con el fin de identificar las pendientes artificiales con alto riesgo de falla y permitir que se prioricen de manera efectiva las medidas preventivas; donde los análisis cualitativos del análisis de riesgo de deslizamiento son los más empleados, debido a su simplicidad de realizarse. Este tipo de análisis implica adquirir conocimientos sobre los peligros y los elemento en riesgo y sus vulnerabilidades expresando cualitativamente sus atributos clasificados (Budetta & Nappi, 2013; Guerin et al., 2020; Asmare, 2023; Cargua, Espin, Valencia, Simbaña, Araujo, Cornejo & Ocampos, 2024).

Generalmente son empleados sistemas de clasificación de riesgos, esquemas de puntuaciones y matrices de clasificación de riesgos; estas suelen ser útiles para la gestión de deslizamientos de tierra al proporcionar una comparación relativa de los riesgos para diferentes sitios y facilitar la priorización de las acciones de seguimiento cuando existen riesgos en las carreteras (Bouali, Oommen, Vitton, Escobar-Wolf & Brooks, 2017). Por ejemplo, algunos sistemas de clasificación de riesgos cualitativos utilizan invariablemente un patrón de puntuación exponencial que requiere una base de 3 (3, 9, 27, 81), y la puntuación total que refleja el riesgo derivado de la suma de los factores de diferentes categorías puntuaciones cuantitativas y los cualitativas (la altura del talud, la eficacia de las zanjas, el tráfico, las características geológicas, la magnitud y las consecuencias de la falla) (Garnica y Pérez, 2012). Estos métodos son útiles para análisis geomecánicos sencillos y complejos (Budetta & Nappi, 2013; Sonker, Tripathi & Singh, 2021) y permiten identificar zonas o pendientes críticas que requieran una evaluación cuantitativa más detallada de los peligros (o riesgos) específicos del sitio. En general la evaluación de los taludes y pendientes permite definir las diversas estrategias de mitigación para reducir los daños económicos, ecológicos y sociales que puedan suscitarse; las cuales pueden clasificarse, en general, en medidas activas o duras y pasivas o blandas por ejemplo las prácticas que emplean mallas, anclajes e inyección de cemento son medidas activas, mientras que las prácticas que utilizan terraplenes, barreras flexibles, cobertizos de roca, zanjas de contención y reforestaciones se clasifican como medidas pasivas (Maheshwar, Bhowmik & Samanta, 2023).

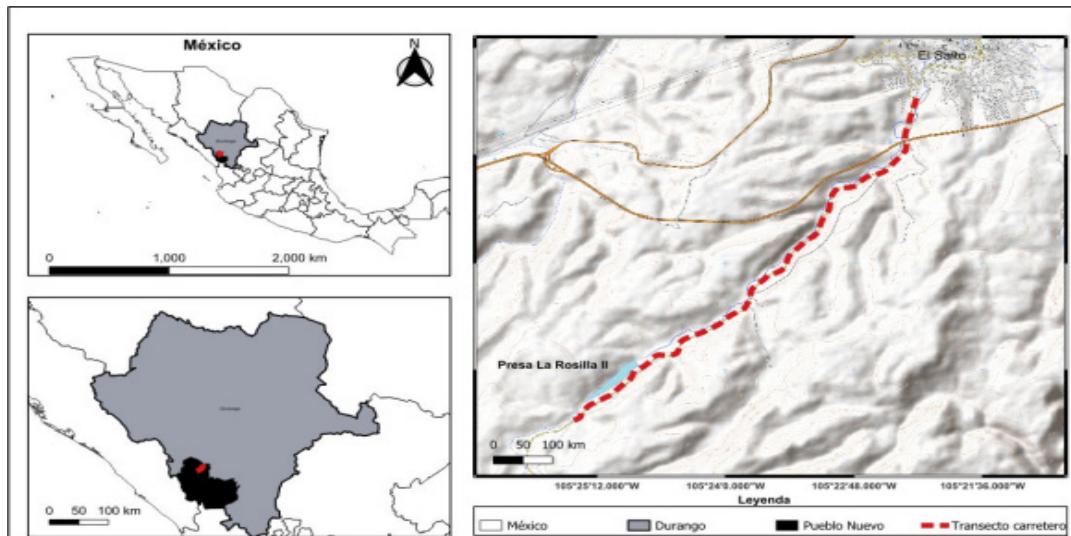
Considerando lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue emplear un análisis de inestabilidad de cortes carreteros en el transecto carretero El Salto-La Rosilla, considerado como vía principal de acceso a comunidades rurales en el sur del estado de Durango y con ello definir acciones que permitan mejorar la condición de la vía de comunicación.

Metodología

Localización

El área de estudio se encuentra en la carretera municipal, específicamente en el transecto de El Salto a la presa La Rosilla, perteneciente al municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Se caracterizaron los taludes de un transecto de 9.19 km y se localiza entre las coordenadas geográficas $105^{\circ}23'27.67''$ W, $23^{\circ}44'20.27''$ N [Datum: WGS84; Zona: 13N] (Figura 1). Presenta un clima tipo Cb'(W2) que se caracteriza por ser semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C , temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C , temperatura del mes más caliente 22°C . Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual (PRO-FLORESTA, S. C., 2008). El suelo dominante en el área de estudio es del tipo Cambisol, caracterizado por ser un suelo joven y poco desarrollado (INEGI, 2010; Luna, Álvarez, Rodríguez, Torres, Hernández & Bejar, 2024). De acuerdo con Medrano, Hernández, Corral y Nájera (2017), la vegetación dominante de la zona es bosque de pino-encino, destacando la presencia de 6 familias (*Betulaceae*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Fagaceae*, *Pinaceae* y *Salicaceae*), donde la familia más abundante es la *Pinaceae* con 12 especies, seguida de la *Fagaceae* con 9 especies.

Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Rangos de evaluación y puntuaciones

Para evaluar el riesgo de deslizamiento se empleó la Metodología para la Gestión

de Cortes Carreteros del Instituto Mexicano del Transporte (Garnica y Pérez, 2012); la cual emplea una matriz de peligro y vulnerabilidad y determina la peligrosidad dependiendo del factor a evaluar. Dicha matriz de doble entrada considera cuatro niveles de peligro y cuatro de vulnerabilidad para determinar el nivel de riesgo. Con base a lo anterior se le asignó una puntuación cuyos valores fueron múltiplos de 3, los cuales se detallan a continuación.

Peligrosidad baja = 3 puntos.

Peligrosidad media = 9 puntos

Peligrosidad alta = 27 puntos

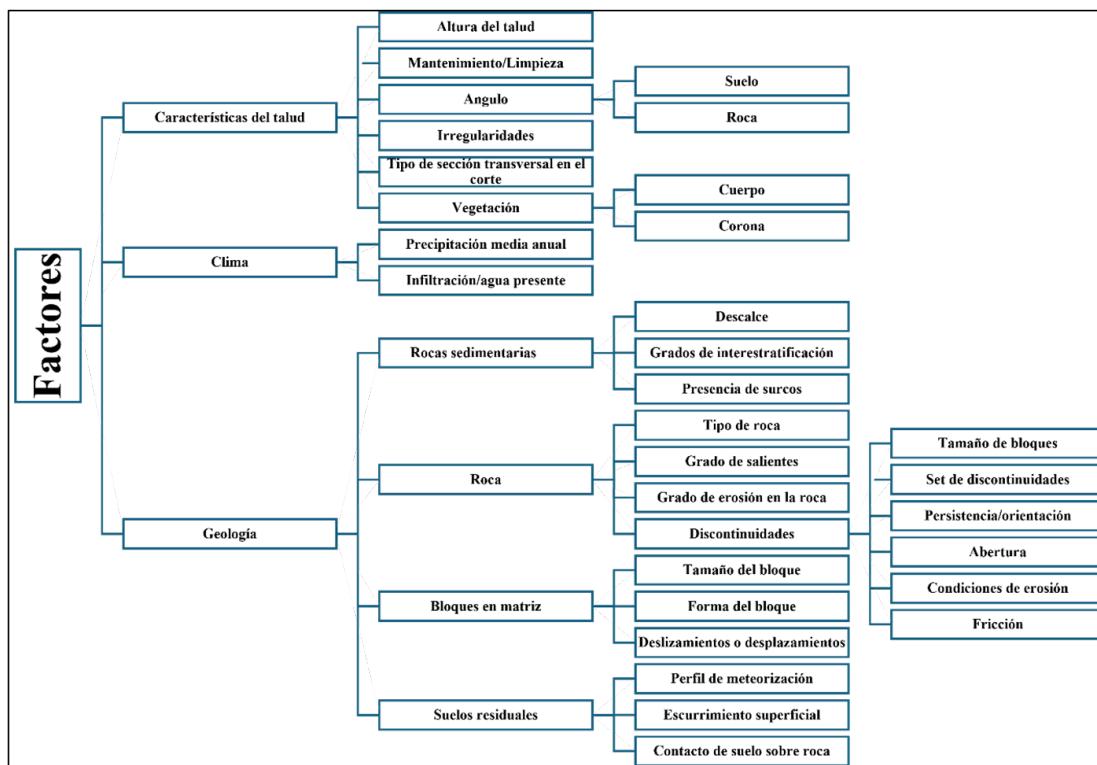
Peligrosidad muy alta = 81 puntos

Lo anterior permite definir la función exponencial $y=3X$, donde la variable X toma los valores de 1 al 4, obteniendo como resultado la asignación de puntuaciones de cada categoría (31, 32, 33 y 34), y finalmente la suma de puntuaciones de la peligrosidad da como resultado el nivel de riesgo/instabilidad de cada talud.

Factores de evaluación

La estabilidad geotécnica de los taludes o laderas puede ser evaluada a través de factores condicionantes y desencadenantes. De acuerdo con Oliva (2005), no todos los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la estabilidad de taludes y laderas pueden ser evaluados cuantitativamente por medio de cálculos, por lo que existen diversas metodologías alternas que miden o determinan la estabilidad de un talud de forma cualitativa a través de la observación de sus características (Cuanalo, Oliva y González, 2007). En este estudio se determinó el Índice General de Inestabilidad de cortes carreteros (IGEcc) (Garnica y Pérez, 2012), implementando los siguientes factores de evaluación (Figura 2):

Figura 2. Factores de evaluación de taludes carreteros. Fuente: Garnica y Pérez (2012);



Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos y estadísticos

Una vez realizado el inventario de campo, se procedió a sumar las puntuaciones de cada talud para categorizar su riesgo a derrumbarse (inestabilidad). Se empleó un análisis de estadística descriptiva por la procedencia de los datos (cualitativos), aplicando un análisis clúster tipo jerárquico a las puntuaciones, para establecer las distancia o similitudes de los elementos de los taludes evaluados. Los análisis fueron realizados empleando el paquete estadístico PAST versión 3.21 (PAleontological STatistics) (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

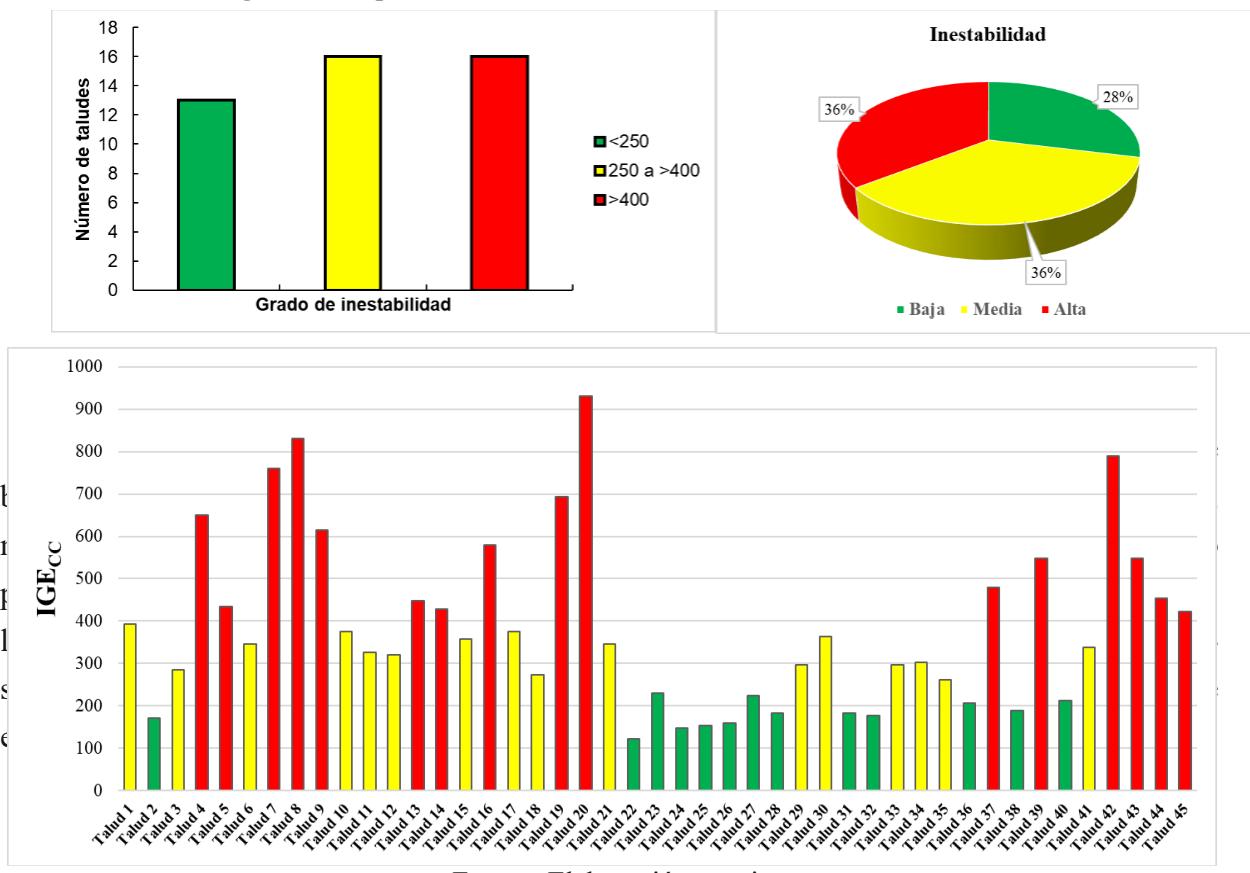
Resultados

Las condiciones de los taludes del tramo de carretera evaluado son representativas de las condiciones de los taludes de las carreteras del municipio que dan acceso a las comunidades rurales de la región, las cuales presenten sucesos de fallas por el desprendimiento de caídos.

Descripción de la inestabilidad

En el transecto evaluado se registraron y evaluaron un total de 45 cortes de talud, de acuerdo a sus puntuaciones de la peligrosidad el 28% (13 taludes) fueron clasificados como de baja inestabilidad, 36% (16 taludes) de media y alta inestabilidad, respectivamente (Figura 3).

Figura 3. Proporción de taludes inestables en el transecto carretero.



Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 1 se presentan el resumen de las puntuaciones asignadas por cada una de las variables determinadas, así como, la puntuación final de cada talud. En la última columna se indica el grupo de taludes por grado de inestabilidad.

Cuadro 1. Grupos de inestabilidad formados a partir del análisis de conglomerados y del dendrograma obtenido.

Talud	Características del Talud							Clima			CI	
	h	M/L	θ	Irreg.	TS	AC	VC	VCo	PP.	Inf.	Geología	
22	3	3	3	3	3	9	3	3	81	3	9	123
24	3	3	9	3	3	3	27	3	81	3	9	147
25	3	3	27	3	3	9	9	3	81	3	9	153
26	3	3	9	3	3	9	9	3	81	3	33	159
2	3	3	27	9	3	9	9	3	81	3	21	171
32	3	3	3	3	3	9	27	9	81	3	33	177
28	3	3	27	3	3	9	27	9	81	3	15	183
31	3	3	3	27	3	9	9	9	81	3	33	183
38	3	3	27	3	9	9	27	9	81	3	15	189
36	3	3	9	3	27	9	27	9	81	3	33	207
40	3	3	9	27	3	9	27	9	81	3	39	213
27	3	3	27	27	27	9	9	3	81	3	33	225
23	3	3	3	3	3	3	9	9	81	81	33	231
35	9	3	27	3	27	9	81	9	81	3	9	261
18	9	27	27	27	27	9	27	3	81	3	33	273
3	3	3	9	81	3	9	27	9	81	3	57	285
29	3	3	27	27	3	9	81	3	81	3	57	297
33	3	9	3	3	27	81	27	27	81	3	33	297
34	9	27	27	3	27	9	81	3	81	3	33	303
12	3	3	27	9	3	9	81	3	81	3	99	321
11	9	9	27	9	9	9	81	3	81	3	87	327
41	9	3	27	9	27	9	27	3	81	27	117	339
6	9	9	81	27	3	9	81	9	81	3	33	345
21	3	3	27	9	3	9	81	81	81	3	45	345
15	3	9	27	27	81	9	27	27	81	3	63	357
30	3	9	9	81	27	81	27	9	81	3	33	363
10	3	27	27	27	27	9	27	27	81	3	117	375
17	9	27	27	27	27	9	81	27	81	3	57	375
1	9	9	9	27	9	9	27	3	81	3	207	393
45	3	9	9	27	27	81	3	9	81	3	171	423
14	9	9	27	9	27	9	81	3	81	3	171	429
5	3	3	27	27	9	9	27	3	81	3	243	435
13	9	3	81	3	27	9	81	9	81	9	135	447
44	3	27	9	27	3	81	81	3	81	3	135	453
37	9	9	81	81	27	9	81	9	81	3	90	480
39	9	9	27	27	3	9	81	9	81	3	291	549
43	3	27	27	27	27	81	81	3	81	3	189	549
16	9	27	27	81	81	9	81	9	81	3	171	579
9	27	27	27	81	81	9	27	9	81	3	243	615
4	3	3	27	81	9	9	27	27	81	3	381	651
19	27	81	81	81	81	9	3	3	81	3	243	693
7	9	81	81	81	81	9	81	9	81	3	243	759
42	27	9	81	81	27	3	9	81	9	81	3	459
8	9	81	81	81	81	9	81	3	81	81	243	831
20	37	27	27	81	81	9	81	9	81	3	495	931

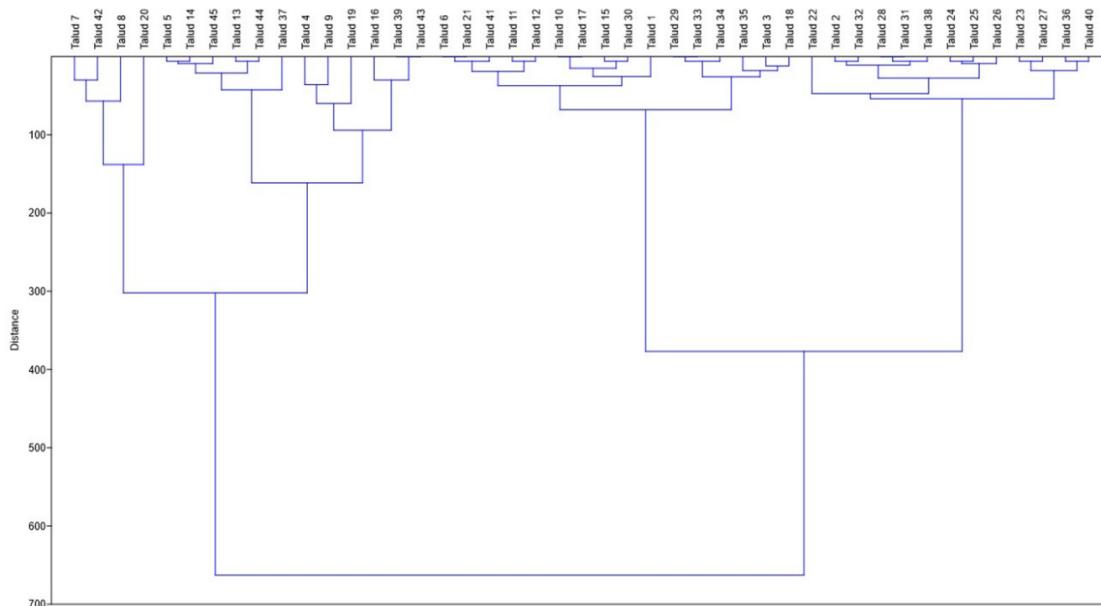
h = altura del talud, M/L = mantenimiento y limpieza, θ = ángulo de inclinación del talud, Irreg. = irregularidades del talud, TS = Tipo de sección, AC = área de captación del talud, VC = vegetación en el cuerpo del talud, VCo = vegetación en la corona del talud, Pp. = precipitación, Inf. = infiltración de agua en el talud, Pts = Puntuación IGEcc, CI = Categorización de inestabilidad

La geología reúne información fundamental sobre la composición y características de suelo, permite identificar los tipos de suelo presente en un sitio para predecir y evaluar riesgos geotécnicos, como los deslizamientos de suelo y caídas de rocas. En este sentido de los 45 taludes evaluados 12 presentan una geología formada por roca sedimentaria, 13 son de roca sólida, 5 presentan estructura de bloques en matriz con fallas presente y 15 son suelos residuales.

Análisis Clúster jerárquico

En el dendrograma podemos apreciar la formación de 4 grupos, que comparten similitud respecto a las distancias y variación de las puntuaciones del IGEcc, con relación a los factores del cual fue determinado el índice (Figura 5).

Figura 5. Dendrograma de los grupos obtenidos de la clasificación.



Fuente: Elaboración propia

Los grupos conformados, quedaron de la siguiente manera:

- Talud 7, 42, 8 y 20.
- Talud 45, 14, 5, 13, 44, 37, 39, 43, 16, 9, 4 y 19.

c) Talud 35, 18, 3, 29, 33, 34, 12, 11, 41, 6, 21, 15, 30, 10, 17 y 1.

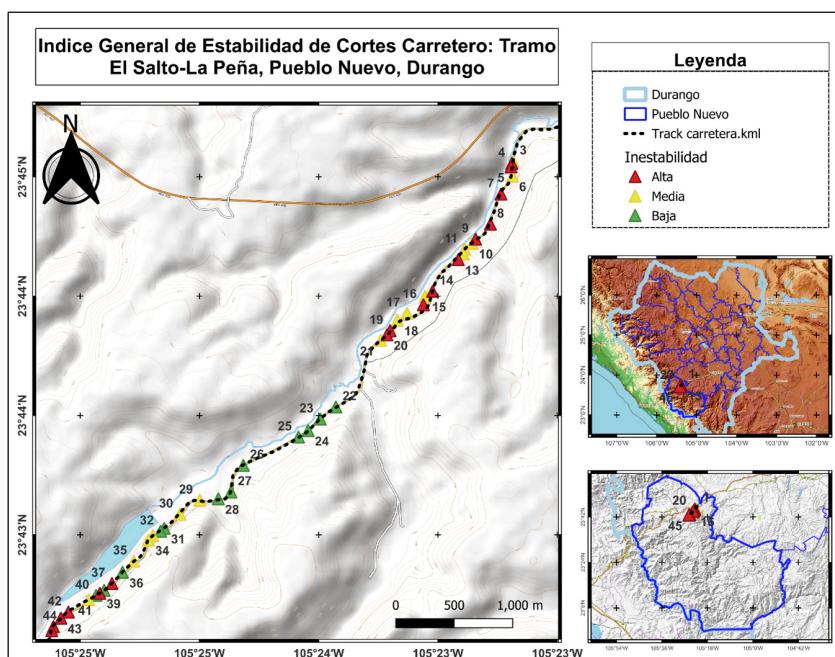
d) Talud 22, 24, 25, 26, 2, 32, 28, 31, 38, 36, 40, 27 y 23.

A los grupos a y b se les clasifica como de inestabilidad alta, mientras que a los c y d se les clasifica como de intensidad media y baja, respectivamente.

Digitalización del riesgo de la inestabilidad de los taludes evaluados

Con base al análisis clúster se digitalizó la distribución de los taludes a lo largo del transecto carretero respecto a la inestabilidad que presentan, en donde los taludes con baja inestabilidad se concentraron en la parte media del transecto, mientras que los de alta y media inestabilidad se concentraron en los extremos del transecto, lo cual puede estar asociado a la topografía y relieve de la zona, ya que en las partes extremas se aprecian mayores irregularidades en el terreno, mientras que en la parte central hay un llano pequeño que demarca menores irregularidades y por ende menor presencia de taludes (Figura 6).

Figura 6. Transecto carretero evaluado indicando la inestabilidad de cada talud evaluado.



Fuente: Elaboración propia

Eventos de derrumbes y caídos

Considerando las variaciones climáticas de temperatura y precipitación en la región; el estado físico de las vías suele deteriorarse más rápido, además la estructura de los taludes suele debilitarse por una mayor presencia de humedad así como la prolongación de sequias, por lo anterior se realizó un monitoreo del área de estudio y zonas cercanas con características similares entre de abril a septiembre de 2024; donde el día 05 de abril del año 2024 la Coordinación Municipal de Protección Civil de Pueblo Nuevo informó sobre el primer derrumbe de caídos (rocas) del año en el transecto carretero evaluado (Figura 7a). Posteriormente, otro suceso ocurrió el 04 de septiembre donde se presentó un derrumbe de caídos con presencia de sedimentos esto en la parte alta del transecto del presente (Figura 7b).

Figura 7. Derrumbe (caídos) en el transecto carretero evaluado el día 05 de abril de 2024.



Fuente: Coordinación Municipal de Protección Civil de Pueblo Nuevo, Durango

Discusión

De acuerdo a Cargua et al. (2024) el uso de métodos cualitativos para la jerarquización de riesgo de taludes permite identificar el grado de influencia de las variables en los procesos de deslizamientos del suelo y rocas; considerando lo anterior las variables de ángulo de inclinación del talud, irregularidades del talud, vegetación en el cuerpo del talud, precipitación y geología las de mayor influencia sobre la estabilidad de cortes carreteros en el presente estudio. Cabe señalar que diversos autores mencionan que los estudios cualitativos que emplean esquemas de puntuaciones permiten identificar y priorizar de manera más rápida zonas o pendientes críticas; por lo que su control o manejo puede ser más eficiente (Dai et al. 2002; Fell, Ho, Lacasse & Leroi, 2005; Budetta & Nappi, 2013; Sonker et al., 2021).

Normalmente, aunque las condiciones climáticas es un factor desencadenante de los des-

lizamientos, éstas son ignoradas de los análisis cualitativos (Tamayo y Rodríguez, 2020). Sin embargo, en el presente estudio se incorporaron las variables climáticas de precipitación y escorrimiento para estimar la infiltración. Dicha variable da un peso más elevado a la estimación de la inestabilidad, ya que la precipitación media anual supera el rango máximo del análisis (>850 mm) asignando una puntuación de 81 a todos los taludes. Por otra parte, existen otros factores externos que contribuyen a la ocurrencia de fallas en taludes, por ejemplo el tránsito de vehículos de carga pesada, cuyos efectos de las vibraciones inducidas generan aumentos en la presión sobre los taludes y a la vez disminuyen su resistencia (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2019), en la carretera de estudio transitan con alta magnitud de peso y con alta periodicidad camiones de carga (madera en rollo) por lo que la repercusión para fallas en los taludes carreteros puede ser más habitual.

De acuerdo con Pantelidis (2009) la atribución de análisis cualitativos puede llevar a una subestimación del riesgo, debido a que la mayoría de estos se encuentran enfocados en evaluar únicamente la seguridad de los viajeros. Por ello fue importante involucrar variables (pendiente y altura del talud, tipo de vegetación, geológica, clima, precipitación, presencia de escurrimientos, tipo de geológica, así como su condición) que proporcionaran un panorama más amplio en cuanto a los impactos sociales y económicos. En general, la evaluación y gestión del riesgo de deslizamientos de tierra comprende la estimación del nivel de riesgo, la decisión sobre si es aceptable o no y la aplicación de medidas de control adecuadas para reducir el riesgo cuando el nivel de riesgo no puede aceptarse (Ho, Leroi & Roberds et al., 2000). En este estudio es evidente que el 36% de los taludes requieren atención inmediata y 32% atención a corto plazo. Lo anterior coincide con las estadísticas de la Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitacionales (2019), que indica que el 44% del total de casos registrados por inestabilidad de laderas en el país ocurre en caminos o carreteras donde mucha de las veces no cuenta con obras de mantenimiento y monitoreo continuo.

El peligro de fallo de los cortes de tipo de roca está relacionado con la presencia de discontinuidades, los análisis cualitativos generalmente no aportan suficiente información y casi siempre carecen de una descripción adecuada, por lo que, si bien la inclinación, orientación y condiciones de las discontinuidades dan una idea del peligro que representan no son del todo estrictas (Budetta, 2004; Budetta & y Nappi, 2013; Scavia, Barbero, Castelli, Marchelli, M., Peila, Torsello & Vallero, 2020; Hantz, Coroninas, Crosta & Jaboyedoff , 2021). En el presente estudio se realizó la caracterización de las discontinuidades, sin embargo, la presencia de dichas discontinuidades fue muy baja, por tanto, no representó un peligro al realizar la clasificación de los taludes.

La composición y características del suelo de las laderas ofrecen información im-

portante para identificar, predecir y evaluar riesgos; He, Li y Du (2023) señalan que el grado de estabilidad de las mismas puede estar sujeta a su conformación; ya que al estar expuesta a otros factores como la precipitación o sequía su resistencia al corte, integridad y la cohesión del suelo puede variar significativamente favoreciendo la presencia de deformaciones y fallas en las laderas. En este sentido, la mayoría de los taludes evaluados se caracterizaron por la dominancia de presencia de rocas (sedimentarias, sólidas y en formación en bloques) y poca cobertura siendo de esta manera susceptibles a deslizamiento por su baja adherencia; con la ocurrencia de los dos derrumbes en el transecto evaluado, donde la presencia de rocas de gran tamaño fue distinguible de manera inmediata.

En esta región existen lagunas de información respecto al tema, por lo que los resultados obtenidos permiten respaldar la importancia de los métodos cualitativos para identificar áreas de susceptibilidad a procesos de deslizamientos, considerando que en el estado de Durango los fenómenos naturales de carácter destructivo siempre han aparecido de forma recurrente, impredecible e inevitable; asimismo su relieve accidentado y la frecuencia de problemas ambientales, tales como fragmentación de ecosistemas, tala excesiva y erosión de los suelos, potencializa la ocurrencia de fallas en pendientes y taludes repercutiendo directamente en los componentes socioeconómicos (Secretaría de Desarrollo Social del Municipio de Durango 2012). Cabe señalar que el transecto de la ruta evaluada se considera como una importante red de conexión con la mancha rural del Municipio, por lo que identificar posibles fallas favorece directamente en la seguridad económica, alimentaria, salud social y educativa de la región.

Conclusiones

Por el nivel de riesgo de inestabilidad, 16 taludes necesitan atención inmediata y 16 más atención a corto plazo y 13 que no necesitan atención.

En el presente estudio se identificó a la pendiente, al tipo de formación del talud como los agentes con mayor responsabilidad de la inestabilidad seguidos de las sobrecargas, presencia de coberturas y presencia de humedad sobre los taludes.

La mayoría de los taludes no presenta vegetación en cuerpo y los que cuentan con vegetación no supera el 50% de la superficie del talud, lo cual puede ser un factor detonante en las fallas del talud, asimismo se comprueba que la vegetación desempeña un papel fundamental en la estabilidad del talud.

Se identificaron tres categorías de riesgo de inestabilidad de taludes según sus características (baja, media y alta), lo cual permite realizar diferentes recomendaciones de mejoras en cada categoría que podrían ser la cementación de la cara del talud, uso de mallas para retención de rocas y la de vegetar su superficie, en general cualquier obra reducirá

la ocurrencia de deslizamientos o caídos y problemáticas sociales, económicas y ecológicas.

Por lo anterior, el Índice General de Estabilidad para cortes carreteros (IGEcc) identifica las áreas con mayor susceptibilidad a deslizamientos, en el transecto analizado.

Referencias bibliográficas

- Abdi, E. (2018). Root Tensile Force and Resistance of Several Tree and Shrub Species of Hyrcanian Forest, Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39, 225–270. <https://hrcak.srce.hr/204194>
- Asmare, D. (2023). Application and validation of AHP and FR methods for landslide susceptibility mapping around choke mountain, northwestern ethiopia. *Scientific African*, 19, e01470.
- Bejar, S. J., Hernández, F. J., Cantú, I., González, H., Luna, E. O., & Domínguez, T. G. (2024). Propiedades mecánicas y químicas de las raíces de árboles nativos y su posible efecto sobre la estabilidad del suelo en Durango. *Polibotánica*, (57), 107-124.
- Belandria, N., Ucar, R., & Bongiorno, F. (2011). Determinación de expresiones matemáticas para el cálculo de los esfuerzos aplicados a la estabilidad de taludes. *Ciencia e Ingeniería*, 32(3), 115-121.
- Bouali, E. H., Oommen, T., Vitton, S., Escobar-Wolf, R., & Brooks, C. (2017). Rockfall hazard rating system: Benefits of utilizing remote sensing. *Environmental & Engineering Geoscience*, 23(3), 165-177.
- Budetta, P. (2004). Assessment of rockfall risk along roads. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(1), 71-81. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-71-2004>
- Budetta, P., & Nappi, M. (2013). Comparison between qualitative rockfall risk rating systems for a road affected by high traffic intensity. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(6), 1643-1653. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1643-2013>
- Cargua, C. J., Espin, R., Valencia, B. G., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., & Ocampos, A. (2024). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos empleando el proceso de jerarquía analítica en una carretera Amazónica del Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 39(1), 117-138.

- Charpentier, A. O. (2024). El aluvión de 2022 en una comuna de Quito: Urbanización, vulnerabilidad y políticas interespecies. *Mundos Plurales-Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública*, 11(2), 94-117.
- Cuanalo, O. A., Oliva, A., & González, C. (2007). Estabilidad de laderas: análisis mediante factores de valuación. Ingeopres: *Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, 164, 38-44.
- Dai, F. C., Lee, C. F., & Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64(1), 65-87. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X)
- De la Rosa, P., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2021). Usos de suelo y su relación con procesos de remoción en masa en la cuenca del río Nautla, Veracruz, México (SEDEMA, Ed.; 1 ed.). Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/350357798_Usos_de_suelo_y_su_relacion_con_procesos_de_remocion_en_masa_en_la_cuenca_del_río_Nautla_Veracruz_Mexico
- Dixon, N., Smith, A., & Pietz, M. (2022). A community-operated landslide early warning approach: Myanmar case study. *Geoenvironmental Disasters*, 9(1), 18.
- Fell, R., Ho, K. K., Lacasse, S., & Leroi, E. (2005). A framework for landslide risk assessment and management. In *Landslide risk management* (pp. 13-36). CRC Press.
- Fidan, S., Tanyaş, H., Akbaş, A., Lombardo, L., Petley, D. N., & Görüm, T. (2024). Understanding fatal landslides at global scales: a summary of topographic, climatic, and anthropogenic perspectives. *Natural Hazards*, 120(7), 6437-6455.
- Garnica, A. P., y Pérez, G. C. (2012). Metodología para la gestión de cortes carreteros. Publicación Técnica No. 370, Sanfandila, Querétaro, México.
- González-Elizondo, M. S., M. González-Elizondo, J. A. Tena-Flores, L. Ruacho-González & I. L. López-Enríquez. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica Mexicana* (100):351-403. Doi: 10.21829/abm100.2012.40.
- Guerin, A., Stock, G. M., Radue, M. J., Jaboyedoff, M., Collins, B. D., Matasci, B., ... & Derron, M. H. (2020). Quantifying 40 years of rockfall activity in Yosemite Valley with historical Structure-from-Motion photogrammetry and terrestrial laser scanning. *Geomorphology*, 356, 107069.

- Hammer, Ø., D. A. T. Harper & Ryan P. D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontología Electrónica* 4(1): 1-9.
- Hantz, D., Corominas, J., Crosta, G. B., & Jaboyedoff, M. (2021). Definitions and concepts for quantitative rockfall hazard and risk analysis. *Geosciences*, 11(4), 158.
- He, Y., Li, B., & Du, X. (2023). Soil slope instability mechanism and treatment measures under rainfall—A case study of a slope in Yunda Road. *Sustainability*, 15(2), 1287.
- Ho, K., Leroi, E., & Roberds, B. (2000). Quantitative risk assessment: application, myths and future direction. In ISRM International Symposium (pp. ISRM-IS). ISRM.
- Li, C., & Cai, L. M. (2021). Influence of initial seepage field on rainfall infiltration characteristics and stability of slag slope. *Chin. J. Civil Environ. Eng*, 43, 1-9.
- Lopez-Enriquez, L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta Botánica mexicana*, 100, 351–403. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512012000300012&script=sci_abstract&tlang=pt
- Luna, E. O., Álvarez, D. O., Rodríguez, I., Torres, U., Hernández, F. J., & Bejar, S. J. (2024). A case study of the physical and hydrological characteristics of the soil after the occurrence of forest fires in Durango, Mexico. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(4), 1511-1524.
- Maheshwari, S., Bhowmik, R., & Samanta, M. (2023). Rockfall hazard: a comprehensive review of current mitigation practices. *Landslides: detection, prediction and monitoring: technological developments*, 175-209.
- Medrano, M. J., Hernández, F. J., Corral, R. S., & Nájera, L. J. A. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 57-68.
- Mora-Ortiz, R. S. y Rojas-González, E. (2012). Efecto de la saturación en el deslizamiento de talud en la comunidad San Juan de Grijalva, Chiapas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 13(1), 55-68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000100006&lng=es&nrm=iso&tlang=es [Links]
- Oliva, A. (2005). Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo. Grupo ITEICO Euroamericano. https://www.mia.edu/12465089/ESTABILIDAD_DE_TALUDES_Y_LADERAS._AN%20CUANTITATIVEn

- Pantelidis, L. (2009). Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 46(2), 315-325. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.06.003>
- Pantelidis, L. (2010). A critical review of highway slope instability risk assessment systems. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 70, 395-400. <https://doi.org/10.1007/s10064-010-0328-5>
- Scavia, C., Barbero, M., Castelli, M., Marchelli, M., Peila, D., Torsello, G., & Vallero, G. (2020). Evaluating rockfall risk: Some critical aspects. Geosciences, 10(3), 98.
- Secretaria de Desarrollo Social. (2012). Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Durango. https://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2012/10005_Durango.pdf
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2019). Evaluación de remoción en masa, sector de cerro La Peña-Yobilo, comuna de Coronel, Región del Biobío. https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF_Nac/RM-2019-29.pdf
- Sonker, I., Tripathi, J. N., & Singh, A. K. (2021). Landslide susceptibility zonation using geo-spatial technique and analytical hierarchy process in Sikkim Himalaya. Quaternary Science Advances, 4, 100039.
- Stokes, A., Douglas, G. B., Fourcaud, T., Giadrossich, F., Gillies, C., Hubble, T., Kim, J. H., Loades, K. W., Mao, Z., McIvor, I. R., Mickovski, S. B., Mitchell, S., Osman, N., Phillips, C., Poesen, J., Polster, D., Preti, F., Raymond, P., Rey, F., ... Walker, L. R. (2014). Ecological mitigation of hillslope instability: ten key issues facing researchers and practitioners. Plant and Soil, 377(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2044-6>
- Subdirección de Dinámica de Suelos y Procesos Gravitacionales. (2019). Factores y actividades humanas que propician la inestabilidad de laderas y taludes. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/449571/10._Factores_y_Actividades_humanas_VCDR.pdf
- Tamayo, C. E. y Rodríguez, C. A. (2020). Método de análisis cualitativo por inspección visual de taludes y laderas. Caso de estudio Cayo Guam. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/341254563_Metodo_de_analisis_cualitativo_por_inspeccion_visual_de_taludes_y_laderas_Caso_de_estudio_Cayo_Guam

- Vergani, C., Chiaradia, E. A., & Bischetti, G. B. (2012). Variability in the tensile resistance of roots in Alpine Forest tree species. Ecological Engineering, 46, 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.036>