

Artículo

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍA DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA INESTABILIDAD DE LADERAS Y MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE MEDIANTE CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA, EN EL TRAMO VIAL DEL SECTOR DE LA REPRESA SAN FRANCISCO

Juan José Reinoso Mendez¹, Silvia Eloisa Hermenejildo¹, Luis Jordá Bordehore^{2*} and Maurizio Mulas^{1,*}

¹ Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador; jjreinoso@espol.edu.ec, ehhermena@espol.edu.ec, mmulas@espol.edu.ec

² Universidad Politécnica de Madrid; jorda@upm.es

* Correspondence: MM mmulas@espol.edu.ec, LJ l.jorda@upm.es

Resumen: En geotecnia existen diversas clasificaciones geomecánicas que son usadas como herramientas para evaluar las propiedades de un macizo rocoso, mediante parámetros cuantificables, a través de los años se han desarrollado diferentes clasificaciones adaptándose al tipo de estudio que se está realizando. Este estudio presenta un análisis comparativo entre la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas y el método de equilibrio límite mediante la caracterización geomecánica a fin de comparar ambas técnicas de caracterización de taludes e identificar cual es la que mejor se adapta teniendo en cuenta las condiciones geológicas que posee un terreno. Para el análisis de susceptibilidad se aplicó una ficha de observación en campo que tenía en cuenta tres factores los cuales son: topográficos e históricos, geotécnicos y morfológicos - ambientales. Para la caracterización geomecánica se aplicó la clasificación RMR y SMR, además de un análisis cinemático para identificar los tipos de fallamientos (planar y cuña). Como resultado se obtuvo que, en el análisis de susceptibilidad todos los taludes son inestables, en la clasificación geomecánica el macizo rocoso era de clase II y calidad Media de acuerdo RMR, completamente inestable a estable de acuerdo con el SMR y todos los taludes presentaban fallamientos de tipo planar y cuña en su análisis cinemático. Teniendo en cuenta las condiciones geológicas que presentaba el terreno el análisis de susceptibilidad fue la técnica que más se adaptó para el área de estudio ya que fue una ficha que realizo directamente en campo.

Palabras clave: análisis comparativo, estabilidad de laderas, susceptibilidad a inestabilidad de laderas.

Citation: Lastname, F.; Lastname, F.; Lastname, F. Title. *Geotechnics* **2022**, 2, Firstpage–Lastpage. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date

Accepted: date

Published: date

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

Un terreno está condicionado a las características geológicas – geotécnicas que lo dominan y estas condiciones son las que propician a la ocurrencia de los movimientos en masa [1]. Las clasificaciones geomecánicas constituyen un procedimiento para caracterizar un macizo rocoso a partir de datos físicos [2]. En macizos rocosos son las propiedades resistentes de las discontinuidades o juntas y de la matriz rocosa son las que controlan el comportamiento mecánico [3]. Existen diferentes clasificaciones que permiten evaluar de manera cualitativa y cuantitativa el macizo rocoso y en base a esto decidir los procesos para estabilizarlo [4]. Las clasificaciones geomecánicas más usadas son: Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski [5], Rock Quality Density (RQD) de Deere [6], Q de Barton [7]. Sin embargo,

estas clasificaciones surgen para la aplicación en construcciones de túneles, y han subido múltiples modificaciones. El método de equilibrio límite consiste en analizar el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura [8]. Cuando el macizo rocoso presenta planos de discontinuidad sistemáticos se emplea el análisis por los métodos de equilibrio límite para deslizamientos planos o de cuñas definidos por la representación estereográfica de las principales familias de discontinuidades, determinando si permiten la formación cinemática de inestabilidades [9]. El índice de calidad *Rock Mass Rating (RMR)* tiene como fin estudiar al macizo rocoso teniendo en cuenta 5 parámetros que permiten estimar la calidad del macizo rocoso en un valor que varía entre 0 a 100, siendo 0 un valor con un macizo rocoso de muy mala calidad y 100 un macizo rocoso de muy buena calidad.

El *Slope Mass Rating (SMR)* es una clasificación geomecánica que fue desarrollada para evaluar la estabilidad de los taludes rocosos, principalmente fue desarrollada por [10]. Cuenta con factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación (incluyendo *RMR básico*). Originalmente fue definido para deslizamientos en rocas de tipo planar y por vuelco, sin embargo [11] adaptó esta clasificación para deslizamiento de tipo por cuña. Con los años el SMR ha sido modificado en base a las necesidades requeridas, siendo [12] que propuso funciones continuas alternativas para el cálculo de los parámetros de corrección F1, F2 y F3, estas funciones continuas proporcionan diferencias inferiores a 7 puntos con respecto a las funciones discretas de [10]. La rotura en cuña es un tipo de deslizamiento traslacional que está controlado por dos o más sistemas de discontinuidades.

La susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de algún tipo de amenaza geológica (movimientos en masa, inundaciones, terremotos, entre otros) y este no implica el aspecto temporal del fenómeno [13]. De acuerdo con [14] el análisis de susceptibilidad se refiere al proceso de la cuantificación relativa de la importancia que puede tener cada uno de los factores intrínsecos o condicionantes en la posibilidad que se produzcan fenómenos de inestabilidad de laderas. La propuesta metodológica para caídas de roca y derrumbes por [15], permite clasificar de manera directa en los taludes definiendo así el grado de susceptibilidad que presentan estas zonas. De acuerdo con [11] para la elaboración de un mapa de susceptibilidad deben de tenerse en cuenta como mínimo cuatro factores condicionantes principales que son: pendiente, características geológicas, cobertura vegetal y usos de suelo. La aplicación de esta metodología en el área de estudio permitió identificar detalladamente, zonas que se encuentran altamente susceptibles en el tramo vial de Pasaje – Santa Isabel. Esta vía es de alto tránsito y en los últimos años se ha evidenciado la caída y desprendimientos de rocas lo que genera un alto riesgo a los

transeúntes y actualmente esta zona no presenta un análisis de susceptibilidad a caídas de roca o desprendimientos.

En este estudio se aplicaran dos metodologías como es el análisis de susceptibilidad a inestabilidad de laderas propuestos por [14] y el método de equilibrio límite mediante la caracterización geomecánica aplicando clasificación RMR y SMR. Los parámetros de cada una de estas caracterizaciones geomecánicas fueron unificados en una ficha que fue utilizada para el levantamiento de información en campo.

La finalidad de este estudio es analizar y comparar la susceptibilidad a inestabilidad de laderas y el método de equilibrio límite aplicando caracterización geomecánica. Se compararán los resultados de las fichas de susceptibilidad, RMR, SMR y análisis cinemático, con el fin de determinar qué tan semejantes son los resultados.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el sur de Ecuador en la Provincia del Azuay, al sur del Cantón Pucará y al norte de Parroquia Sebastián de Yuluc, en la vía que va de Pasaje a Santa Isabel, la cual es una vía colectora de código E59.

El tramo vial de estudio está limitado al norte con el Cantón Santa Isabel, al Sur con el Cantón Saraguro, al este con el Cantón Santa Isabel, al Oeste con la Presa San Francisco perteneciendo a los límites de la Provincia de El Oro – Azuay.

El tramo que se estudió comprender alrededor de 12 kilómetros, abarcando desde la Presa San Francisco, la Estación de Servicio San José y en el inicio de Santa Isabel (Figura 1), cuyas coordenadas son las siguientes UTM WGS 84 Zona 17S, 669092 E / 9633486 N (Inicio) – 679100 E / 9630285 N (Final).

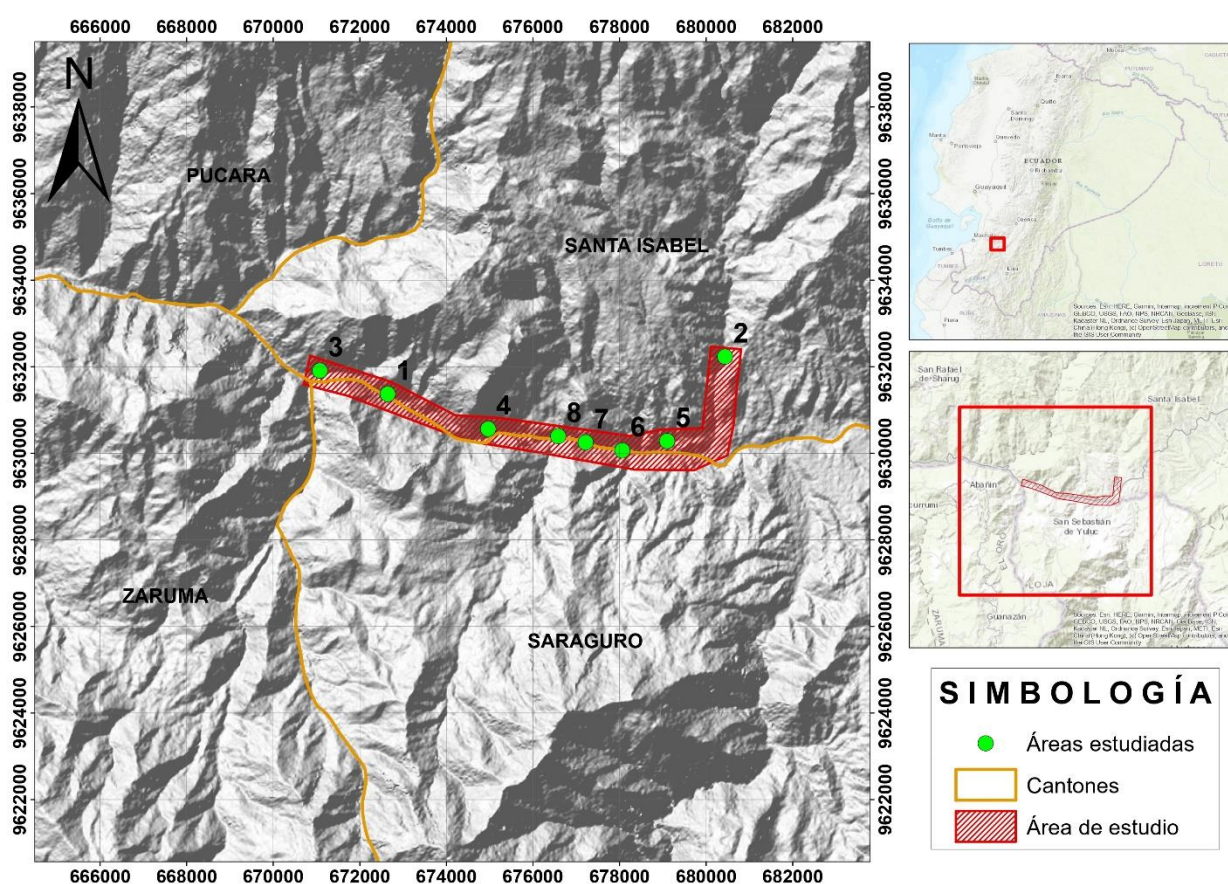


Figura 1 Mapa del área de estudio.

2.2 Marco geológico

Ecuador continental se encuentra ubicado en el centro norte de Sudamérica donde la Cordillera de los Andes ecuatorianos se genera por el proceso de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana [16,17]. La subducción de la placa Nazca y placa Sudamericana ha tenido lugar desde hace 70 Ma y la placa Nazca se desplaza en sentido oeste-este colisionando el continente Sudamericano a una velocidad de 6-7cm/año [18]. La distinción entre Andes centrales y septentrionales no solo es geográfica si no también una diferencia fundamental en la estructura de la cadena andina. [19]. El sector Pasaje – Santa Isabel se encuentra conformada por depósitos volcánico – sedimentarios pertenecientes a la Cuenca Girón – Santa Isabel [20]. La deposición volcánico – sedimentaria es el resultado de una actividad volcánica desarrollada es del Eoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano [21]. En la zona de estudio afloran 5 principales unidades geológicas (INIGEMM 2017). La Formación Piñón (Cretácico) está compuesta de basaltos que presentan características geoquímicas de MORB, plateau oceánico y arco insular. Lavas basálticas y brechas de origen submarino, piroclastos turbidicos pobremente estratificados y delgadas capas de sedimentos intercalados [22]. El Grupo Saraguro (Oligoceno – Mioceno) está compuesto

principalmente por ignimbritas de composición dacítica a riolítica, lavas andesíticas, material volcánoclastico y rocas sedimentarias [23]. La Formación Jubones (Mioceno temprano) aflora en la carretera Cuenca – Pasaje. La Formación Jubones sobreyace lo más antiguos estratos del Grupo Saraguro con una fuerte discordancia angular. Litológicamente es rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Presenta diaclasas de enfriamiento y una débil foliación. Brechas co-ignimbritica tipo “lag” y un depósito de oleaje basal con árboles silicificados ocurren en la localidad tipo [24]. El Grupo Ayancay (Mioceno – Plioceno) se encuentra ubicado entre Santa Isabel, Girón y Cuenca, principalmente confinado entre el sistema de fallas Girón y el Cinturón de Gañarín. Está compuesta de conglomerados rojizos, areniscas, limolitas y lutitas con escasos horizontes de tobas [23]. Por último, la sucesión se cierra con depósitos Cuaternarios que se presentan como aluviones (QA) en todos los valles de los ríos y cubren superficies extensas en la cuenca de Cuenca. De igual manera, terrazas aluviales (QT) ocurren en los márgenes de algunos ríos y compuestas de material grueso de origen volcánico, cementado por arena de diferente granulación que es considerado como materia fluvio – glacial y aluvial antiguo. Depósitos coluviales y derrumbes, se encuentran en las laderas de los valles, cuyo material difiere de acuerdo con las formaciones existentes [23].

2.3 Metodología

El método de susceptibilidad propuesto por [14] permite identificar a detalle lugares donde presenten zonas de inestabilidad de acuerdo con el grado susceptibilidad, cantidad de población expuesta, a fin de implementar medidas de mitigación. De acuerdo a la bibliografía [8,25] para la elaboración de un mapa de susceptibilidad debe tenerse en cuenta siempre estos factores: a) pendiente, b) características geológicas y c) combinación de cobertura vegetal y usos del suelo. Hacer la estimación de la susceptibilidad a la inestabilidad de laderas nos muestra que tan favorables o desfavorables son las condiciones del terreno para que pueda ocurrir inestabilidad, teniendo en cuenta solo los factores intrínsecos o condicionantes de la zona, sin considerar los factores desencadenantes [14]. Para la estimación de laderas inestables en el tramo de estudio se tuvo en cuenta el *Formato de Estimación de la amenaza por deslizamiento de laderas* [14] donde se especifican las categorías consideradas para cada uno de los factores condicionantes de la inestabilidad:

- i) Factores topográficos e históricos (pendientes, alturas, antecedentes)
- ii) Factores geotécnicos (litología y discontinuidades)
- iii) Factores geomorfológicos y ambientales (cobertura vegetal, uso de suelo, así como el historial de ocurrencia de inestabilidades en la zona.

El método de equilibrio límite (LEM) tiene como finalidad estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido que en este caso sería un talud y por una superficie de deslizamiento o

fallamiento [3]. Para el análisis geomecánico del macizo rocoso se utilizaron los métodos de RMR [5] y SMR [10,12], parámetros que permitieron caracterizar de manera cualitativa la calidad del macizo rocoso. Bieniawski (1989) estableció que para aplicar clasificación RMR el macizo rocoso debe ser dividido en zonas o regiones de tal manera que sus dominios estructurales tengan características más o menos uniformes [5]. El RMR cuenta con cinco parámetros que permiten definir el comportamiento de un macizo rocoso, este valor varía entre 0 y 100, siendo los números más cercanos 100 un macizo rocoso de buena a muy buena calidad y viceversa. Los parámetros del RMR son medidos y observados en campo y son los siguientes:

- Orientación de las discontinuidades
- Resistencia a la compresión simple
- Espaciado de las discontinuidades
- Naturaleza de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas

Para finalmente obtener un RMR básico que es considerado como uno de los parámetros para calcular SMR de [10,12].

Previo al levantamiento de la información se realizó el reconocimiento de la zona identificando los taludes más accesibles para la recolección de información y se analizaron un total de 8 taludes en total a lo largo de la vía Santa Isabel – Pasaje.

A cada uno de estos puntos se les aplicó las fichas de susceptibilidad a inestabilidad de laderas (Tabla 2) “*Formato de Estimación de la amenaza por deslizamiento de laderas*”, definiendo los taludes según su grado de susceptibilidad estables o inestables a caídos – derrumbes.

Tabla 1 Formato de Estimación de la amenaza por deslizamiento de laderas.

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTORICOS			FACTORES GEOTÉCNICOS			FACTORES MORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES		
FACTOR	INTERVALOS O CATEGORIAS	ATRIBUTO RELATIVO	FACTOR	INTERVALOS O CATEGORIAS	ATRIBUTO RELATIVO	FACTOR	INTERVALOS O CATEGORIAS	ATRIBUTO RELATIVO
Inclinación de los taludes	Mas de 81°	2	Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5 a 2.5	Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Inexistentes	0
	42° - 81°	1.8					Volúmenes moderados	0.5
	32° - 42°	1.4					Grandes volúmenes faltantes	1
	23° - 32	1.2		Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2		
	14° - 23°	1			Cultivos de ciclo corto	1.5		
	Menos de 14°	0.5			Vegetación intensa	0		
Altura	Menos de 200 m	0.6			Vegetación moderada	0.8		
	200 a 400 m	1.2			Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2		
	400 a 600 m	1.6		Área deforestada	2			
	600 a 800m	1.8		Nivel freático superficial	1			
	Mas de 800 m	2		Nivel freático inexistente	0			
	Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe		0.3	Compuestas de material grueso de origen volcánico, cementado por arena de diferente granulación que es considerado como materia fluvio – glacial y aluvial antiguo.	0.2 a 0.4	Régimen del agua en la ladera	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma
Algunos someros		0.4						
Si, incluso con fechas		0.6						
					Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5	
	5 a 10 m		1					
	10 a 15 m		1.4					
	15 a 20 m		1.8					
	Menos de 15°		0.3					
	Aspectos estructurales en formaciones rocosas		Echado de la discontinuidad		0.225 a 35°	0.6		
					Mas de 45°	0.9		
					Mas de 10°	0.3		
			Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud		0° a 10°	0.5		
					0°	0.7		
					0° a -10°	0.8		
					Mas de -10°	1		
					Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°		
	10° a 20°		0.3					
	Menos de 5°		0.5					

Para el análisis geomecánico se unificaron los parámetros de RMR y SMR creando una sola ficha para el levantamiento de información en campo (Anexo 1) de los puntos seleccionados. Para el cálculo del SMR se utilizó el programa de libre acceso *SMR Tools* [26]. Esta es una herramienta que permite el cálculo de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating de discreta [10] y continua [12], a partir de los coeficientes establecidos para poder identificar los tipos de rotura en cuña, plana y vuelco. Este programa nos indica su descripción, estabilidad, modos de fallo y sistema de sostenimiento recomendado.

Previo al análisis del SMR se utilizaron los software *SMR Tools* y *Rocscience*, tal como *Dips V 7.0*, estableciendo según [27] que las ignimbritas soldadas tienen un ángulo de fricción de 30° , para el análisis cinemático que se lo ejecuto en el programa *DIPS V 7.0* este software permite determinar el punto de intersección en el cual se puede producir el fallamiento (rotura planar, cuña o vuelco), además de poder identificar los datos de yacencia de las familias de discontinuidades que interceptan en la zona de riesgo, teniendo en cuenta el Ángulo de fricción del material.

Esta información obtenida en los programas de *Rocscience* se ingresó en *SMR Tools* con los siguientes datos: Dip/Dip Direction del punto de intersección obtenidos del análisis cinemático, Dip/Dip Direction del talud, RMR básico.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis de susceptibilidad a inestabilidad de laderas

Se aplicó la ficha de susceptibilidad propuesta por [14] a las estaciones geomecánicas con el fin de comparar ambos resultados. Se obtuvo que, de las 8 estaciones geomecánicas, el 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 presentan una susceptibilidad **alta** y la estación geomecánica 4 presenta una susceptibilidad **muy alta**. En la tabla 3 se reflejan los valores de los atributos relativos totales de cada uno de los factores y con su respectivo análisis de susceptibilidad.

Tabla 2 Resultado de análisis de susceptibilidad a inestabilidad de laderas.

233

234

Punto	Factor			Total	Susceptibilidad
	Factores topo- gráficos e his- tóricos	Factores geo- técnicos	Factores mor- fológicos y ambientales		
	Atributo relativo total				
PUNTO 1	2.8	3.6	2.5	8.9	ALTA
PUNTO 2	2.8	3.8	2.5	9.1	ALTA
PUNTO 3	2.8	4.4	2.5	9.7	ALTA
PUNTO 4	2.8	4.8	2.5	10.1	MUY ALTA
PUNTO 5	3	3.6	2.5	9.1	ALTA
PUNTO 6	2.8	3.4	2.5	8.7	ALTA
PUNTO 7	2.8	3.6	2.5	8.9	ALTA
PUNTO 8	2.8	3.6	2.5	8.9	ALTA

3.2 Método de equilibrio limite aplicando caracterización geomecánica

Se obtuvo como resultado preliminar la clasificación geomecánica RMR. En la tabla 4 se encuentra representado el valor final, la calidad y tipo de macizo rocoso que aflora en la zona de estudio, de acuerdo con el criterio geomecánico aplicado. Las estaciones geomecánicas del 1 al 8 presentan un valor de RMR entre 69 siendo el más bajo y de 78 el valor más alto, predominando la calidad de tipo MEDIA y clase I

Tabla 3 Resultado del Rock Mass Rating (RMR).

Localidad	Estación geomecánica	Sistema de juntas	P1	P2	P3	P4	P5	Total	PROM	Calidad	Estabilidad
Tramo vial Pasaje - Santa Isabel	1	J1	12	20	15	14	15	76	71	Media	Estable
		J2	12	20	8	14	15	69			
		J3	12	20	8	12	15	67			
	2	J1	12	20	10	16	15	73	73	Media	Estable
		J2	12	20	10	20	15	77			
		J3	12	20	8	13	15	68			
	3	J1	12	20	10	19	15	76	74	Media	Estable
		J2	12	20	10	17	15	74			
		J3	12	20	10	15	15	72			
	4	J1	12	20	10	19	15	76	75	Media	Estable
		J2	12	20	10	17	15	74			
		J3	12	20	8	19	15	74			
	5	J1	12	20	10	20	15	77	78	Media	Estable
		J2	12	20	8	19	15	74			
		J3	12	20	17	20	15	84			
	6	J1	12	17	15	10	15	69	70	Media	Estable
		J2	12	17	15	12	15	71			
		J3	12	17	15	10	15	69			
	7	J1	12	17	10	16	15	70	71	Media	Estable
		J2	12	17	10	18	15	72			
		J3	12	17	8	20	15	72			
	8	J1	12	17	10	14	15	68	69	Media	Estable
		J2	12	17	10	14	15	68			
		J3	12	17	10	17	15	71			

A simple vista el tramo vial de la zona presentaba un macizo rocoso altamente meteorizado (Figura 2), fracturados y diaclasados. Presentan una escasa vegetación y una capa de suelo de aproximadamente 1 metro en todas las estaciones. En su base se puede observar los pequeños y medianos bloques de material caídos y en el talud los bloques rocosos faltantes.



Figura 2 Estación geomecánica N°1 (izquierda) y N°2 (derecha) altamente meteorizado.

A partir del RMR básico estimado en un inicio y con el uso de los diferentes programas para el análisis de la información (Dips V 7.0 y SMR Tools) se identificaron y evaluaron zonas estables o inestables asociados a los tipos de roturas presentes (planares y cuñas) para ello se ocupó del software DIPS V 7.0.

Se analizaron todas las estaciones de acuerdo con la clasificación *RMR* y se determina que los taludes aflorantes en la zona de estudio se encuentran estables. Mientras que en el análisis cinemático algunos taludes presentaron ambos tipos de roturas (planares y en cuña) que fueron 1, 2, 3, 4 y 7, considerándose que estas zonas tienden a ser inestables, para las estaciones 5 y 6 tienden a fallar en tipo cuña, por lo tanto, también se consideran inestables, estos resultados se encuentran en la tabla 5.

Tabla 4 Resultado del análisis cinemático

Análisis cinemático			
Estación geomecánica	Tipo de rotura	Estabilidad	Probabilidad
EG N°1	Planar	Inestable	16.67%
	Cuña	Inestable	32.68%
EG N°2	Planar	Inestable	38.89%
	Cuña	Inestable	56.86%
EG N°3	Planar	Inestable	27.78%
	Cuña	Inestable	55.56%
EG N°4	Planar	Inestable	16.67%
	Cuña	Inestable	52.29%
EG N°5	Planar	Estable	0.00%
	Cuña	Inestable	5.88%
EG N°6	Planar	Estable	0.00%
	Cuña	Inestable	35.29%
EG N°7	Planar	Inestable	5.56%
	Cuña	Inestable	11.11%
EG N°8	Planar	Estable	0.00%
	Cuña	Inestable	20.92%

Finalmente, partiendo del análisis cinemático y con la herramienta SMR Tools se pudo identificar los taludes potencialmente inestables. En la tabla 5 se encuentra representado los resultados del SMR en base a lo dispuesto por [10]

Tabla 5 Resultado del Slope Mass Rating (SMR)

Estación geomecánica	Slope Mass Rating															
	Romana				Tomás et al				SMR según Romana				SMR según Tomás et al			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	Valor	Clase	Descripción	Estabilidad	Valor	Clase	Descripción	Estabilidad
EG N°1	0,85	1	- 60	0	0,87	0,96	- 58	0	19	V	Muy malo	Completamente inestable	21	IV	Malo	Inestable
EG N°2	0,85	1	- 50	0	0,94	0,97	- 55	0	30	IV	Malo	Inestable	21	IV	Malo	Inestable
EG N°3	0,70	1	- 60	15	0,70	0,97	- 58	15	47	II	Normal	Parcialmente estable	48	II	Normal	Parcialmente estable
EG N°4	0,85	1	- 50	0	0,94	0,99	- 56	0	32	IV	Malo	Inestable	22	IV	Malo	Inestable
EG N°5	0,70	0,85 60	- 60	0	0,67	0,88	- 59	0	37	IV	Malo	Inestable	37	IV	Malo	Inestable
EG N°6	0,15	0,70 60	- 60	0	0,17	0,71	- 59	0	62	II	Bueno	Estable	61	II	Bueno	Estable
EG N°7	0,15	0,85 60	- 60	15	0,20	0,91	- 59	15	81	I	Muy bueno	Completamente estable	77	I	Bueno	Estable
EG N°8	0,15	0,7 60	- 60	0	0,16	0,72	- 59	0	62	II	Bueno	Estable	61	II	Bueno	Estable

En la tabla 7 se encuentra representado el resultado de los taludes estudiados, en la cual se tomó a consideración la clasificación el RMR, análisis cinemático, SMR por Romana y Tomás et al y susceptibilidad a inestabilidad de laderas.

De acuerdo con los resultados de la clasificación geomecánica *RMR* se muestra que estos taludes aflorantes presentan un macizo rocoso de clase III y calidad media, En cuanto al análisis cinemático se muestra que la mayoría de las estaciones presentan un tipo de fallamiento (cuña) o ambos tipos (planar y cuña), por tanto, en este análisis se considera que estos taludes se encuentran totalmente inestables. En la clasificación *SMR* según [10] y [12] las estaciones 1, 2, 4, 5 son taludes totalmente inestables, mientras que, las estaciones 3, 6, 7, 8 son taludes completamente estables, parcialmente estables o estables. Por último, aplicando las fichas de susceptibilidad absolutamente todas las estaciones tienen un rango de susceptibilidad mayor a 8 lo cual se considera con una susceptibilidad alta a muy alta.

Tabla 6 Análisis comparativo de susceptibilidad a inestabilidad de laderas y el método de equilibrio limite mediante caracterización geomecánica.

Análisis comparativo					
Estacion Nº	RMR (Bieniawski, 1989)	Análisis cinemático	SMR (Romana, 1993)	SMR (Tomás et al, 2007)	Susceptibilidad
1	Media	Inestable para planar y cuña	Completamente inestable	Inestable	Inestable
2	Media	Inestable para planar y cuña	Inestable	Inestable	Inestable
3	Media	Inestable para planar y cuña	Parcialmente estable	Parcialmente estable	Inestable
4	Media	Inestable para planar y cuña	Inestable	Inestable	Inestable
5	Media	Inestable para cuña	Inestable	Inestable	Inestable
6	Media	Inestable para cuña	Estable	Estable	Inestable
7	Media	Inestable para planar y cuña	Completamente estable	Estable	Inestable
8	Media	Inestable para cuña	Estable	Estable	Inestable

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos de las diferentes clasificaciones aplicadas en el área de estudio, se observa que la clasificación geomecánica *Rock Mass Rating* determino que es un macizo rocoso de clase II y calidad Media. El análisis cinemático muestra que los taludes se encuentran totalmente inestables para los tipos de rotura planar y cuña. El *Slope Mass Rating* de [10] muestra resultados de taludes completamente inestables a completamente estables. Y [12] presenta taludes inestables a estables. Mientras que el análisis de susceptibilidad aplicando la ficha propuesta por [14] se reflejan resultados de taludes inestables.

Una vez analizando y comparando los métodos de clasificación que se aplicaron se observa que las clasificaciones geomecánicas *Rock Mass Rating*, *Slope Mass Rating* difieren un poco en cuanto a la estabilidad de los taludes del área de estudio con respecto al resultado de la susceptibilidad y el análisis cinemático. Teniendo en cuenta que el área de estudio se ubicó en todo el tramo vial de Pasaje – Santa Isabel, en donde afloran rocas de tipo ignimbritas soldadas pertenecientes a la Formación Jubones con taludes altamente meteorizados, en zonas donde se observó puro suelo además de los bloques caídos, bloques colgantes e igualmente de las causas antrópicas de este sector. Una vez teniendo en cuenta estos parámetros la metodología que más se adaptó para esta zona en específico fue el análisis de susceptibilidad aplicando las fichas de observación propuesta [14], debido a que es una ficha únicamente de observación y no toma en cuenta datos estructurales y geomecánico de la zona, se la puede tener en cuenta para determinar la estabilidad de taludes en zonas altamente meteorizadas y donde no aprecien estructuras geológicas para su levantamiento.

6. Patentes

This section is not mandatory but may be added if there are patents resulting from the work reported in this manuscript.

Supplementary Materials: crear un documento para anexos

Author Contributions: For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, X.X. and Y.Y.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X.; funding acquisition, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the [CRediT taxonomy](#) for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

Funding: Please add: “This research received no external funding” or “This research was funded by NAME OF FUNDER, grant number XXX” and “The APC was funded by XXX”. Check carefully that the details given are accurate and use the standard spelling of funding agency names at <https://search.crossref.org/funding>. Any errors may affect your future funding.

Acknowledgments: In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest

Appendix A

The appendix is an optional section that can contain details and data supplemental to the main text—for example, explanations of experimental details that would disrupt the flow of the main text, but nonetheless remain crucial to understanding and reproducing the research shown; figures of replicates for experiments of which representative data is shown in the main text can be added here if brief, or as Supplementary data. Mathematical proofs of results not central to the paper can be added as an appendix.

Appendix B

All appendix sections must be cited in the main text. In the appendices, Figures, Tables, etc. should be labeled starting with “A”—e.g., Figure A1, Figure A2, etc.

Referencias

- Highland LM, Bobrowsky P. The landslide Handbook - A guide to understanding landslides. US Geol Surv Circ. 2008;(1325):147.
- Suárez Díaz J. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Vol. 1, Deslizamientos: Análisis Geotécnico. 2009. 582 p.
- Ramírez Oyanguren P, Alejano Monge L. Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. J Chem Inf Model. 2004;300.
- Celada B. Las Clasificaciones Geomecánicas. Madrid: GEOPRIN SA; 1982. p. 4.
- Bieniawski ZT. Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. Wiley-Interscience; 1989. 250 p.
- Deere DU, Deere DW. The rock quality designation (RQD) After Twenty Years. Symposium on Rock Classification Systems for Washington, DC: U.S DEPARTMENT OF COMMERCE: National Technical Information Service; 1989.
- Barton N, Lien R, Lunde J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mech. 1974;6(189–236):49.
- González de Vallejo LI, Ferrer M, Ortuño L, Oteo C. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson Education, Madrid. 2002. 744 p.
- Hernández L, Santamarta J. Ingeniería geológica en terrenos volcánicos. Ilustre Co. Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos; 2015. 434 p.
- Romana MR. A geomechanical classification for slopes: slope mass rating. Comprehensive rock engineering. Vol. 3. 1993. 575–600 p.
- Anbalagan R. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Eng Geol. 1992 Jul 1;32(4):269–77.
- Tomas R, Romana M, Bernardo Seron J. Revision del estado actual de la clasificación geomecánica Slope Mass Rating (SMR). Soc Española Mec del Suelo e Ing Geotec. 2007;11.
- Santacana Quintas N. Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. TDX (Tesis Dr en Xarxa). 2001 Jul 13;
- González A, Domínguez L, Munive M, Zaragoza A. ELABORACIÓN DEL MAPA NACIONAL DE SUSCEPTIBILIDAD A CAÍDOS DE ROCA Y DERRUMBES COMO HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES Y EL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO. 2020.
- CASTRO J. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS PROCESOS GEODINÁMICOS QUE INFLUYEN EN EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN GUARANDA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD

- DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL. 2013. 392
16. Hungerbühler D, Steinmann M, Winkler W, Seward D, Egüez A, Peterson DE, et al. Neogene stratigraphy and 393
Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Rev.* 2002;57(1–2):75–124. 394
 17. Chunga K, Pazmiño N, Martillo C, Quiñonez M, Huaman F. Estimación de máximos niveles de sismicidad para 395
el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismo-tectónicos. *Rev Científica y* 396
Tecnológica UPSE. 2013;1(2):1–13. 397
 18. Witt C. CONSTRAINTS ON THE TECTONIC EVOLUTION OF THE NORTH ANDEAN BLOCK TRAILING 398
TAIL: EVOLUTION OF THE GULF OF GUAYAQUIL-TUMBES BASIN AND THE INTERMONTANE BASINS 399
OF THE CENTRAL ECUADORIAN ANDES. 2007; 400
 19. Steinmann M, Hungerbühler D, Seward D, Winkler W. Neogene tectonic evolution and exhumation of the 401
southern Ecuadorian Andes: A combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics.* 1999;307(3– 402
4):255–76. 403
 20. Flor-Jiménez M, Avilés-Moran H, Villalta-Echeverría M, Murillo-Lozano I, Escobar-Segovia K, Mulas M. 404
Geotechnical and structural characterization of the Ignimbritas of the Saraguro group in the sector of Santa 405
Isabel-Pucará, Ecuador. *Proc LACCEI Int Multi-conference Eng Educ Technol.* 2019;2019-July(January). 406
 21. Pratt WT, Figueroa J, Flores B. MAPA GEOLOGICO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR 407
ENTRE 3° - 4° S. Soil Conservation. [Ecuador]: Instituto Geografico Militar; 1997. 408
 22. Trenkamp R, Kellogg JN, Freymueller JT, Mora HP. Wide plate margin deformation, southern Central America 409
and northwestern South America, CASA GPS observations. *J South Am Earth Sci.* 2002 Jun 1;15(2):157–71. 410
 23. Egüez A, Gaona M, Albán A. Mapa geológico de la Republica del Ecuador. 2017. 411
 24. Aguilera G, Ibadango E, Cando M, Lima A, Núñez H, Gómez J. Mapa geológico de Girón a escala 1:100000. 412
Supervision geologica unidad de cartografia y minerales; 2005. p. 1. 413
 25. Anbalagan R, Singh B. LANDSLIDE HAZARD AND RISK MAPPING IN THE HIMALAYA. 2001;26. 414
 26. Riquelme A, Tomas R, Abellan A. SMRTTool beta. A calculator for determining Slope Mass Rating (SMR). 415
[Internet]. Universitat d' Alacant . 2014 [cited 2022 Jun 9]. Available from: 416
<https://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html> 417
 27. Martinez JC. Determinación del deterioro de núcleos de ignimbritas a través de ensayos en laboratorio. 418
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; 2019. 419
420
421

ANEXOS

Ficha de levantamiento geomecánico

FICHA DE ESTACIÓN GEOMECÁNICA																				COORDENADAS	X	COTA (Z)	FECHA	CALIDAD DE AFLORAMIENTO	ESTACIÓN Nº	UBICACIÓN			
																				Y									
MEDIDAS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	LITOLOGÍA	ALTERACIÓN		RESISTENCIA AL MARTILLO DE GEOG				
TIPO DE PLANO		CROQUIS FRACTURAS																				CROQUIS AFLORAMINETO							
DIP/DIR																													
DIP/DIR																													
TIPOS DE PLANO: E-estratificación		J-junta		S-esquistosidad		F-falla		grava		A-arcilla		M-milonita		C-calcita		F-feldespatos													
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES																													
ESPACIADO	Σ																												
> 200 cm																													
60 cm - 200 cm																													
20 - 60 cm																													
6 - 20 cm																													
< 6 cm																													
CONTINUIDAD	Σ																												
< 1 m																													
1-3 m																													
3-10 m																													
10-20 m																													
>20 m																													
APERTURA	Σ																												
Nada																													
< 0,1 mm																													
0,1-1,0 mm																													
1-5 mm																													
> 5 mm																													
RUGOSIDAD	Σ																												
Muy rugosa																													
Rugosa																													
Ligeramente rugosa																													
Suave																													
Estrizada-slickensided																													
JRC																													
RELLENO	Σ																												
Ninguno																													
Duro <5mm																													
Duro >5mm																													
Blando <5mm																													
Blando >5mm																													
ALTERACIÓN	Σ																												
Inalterado																													
Ligeramente alte.																													
Moderadamente alte.																													
Muy alterado																													
Descompuesto																													
AGUA	Σ																												
Seco																													
Lig. humedo																													
Humedo																													
Goteando																													
Fluyendo																													

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

Resultados de las estaciones geomecánicas aplicando la ficha de susceptibilidad.

441

Ficha de susceptibilidad N°1

442

Ficha de susceptibilidad N°1		
Factores topográficos e históricos		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8
Altura	Menos de 200m	0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4
Factores geotécnicos		
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5
	Espe- sor de la capa de suelo	Menos de 5 m 0.5
Aspectos estructurales en forma- ciones rocosas	Echado de la discon- tinui- dad	Mas de 45° 0.9
	An- gulo entre el echado de las discon- tinui- dades y la in- clina- ción del ta- lud	0° a 10° 0.5
	An- gulo entre el rumbo de las discon- tinui- dades y el rumbo de la direc- ción del ta- lud	Mas de 30° 0.2
Factores morfológicos y ambientales		
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados	0.5
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0
TOTAL		8.9
Rango de susceptibilidad		Alta

443

Ficha de susceptibilidad N°2

444

Ficha de susceptibilidad N°2			
Factores topográficos e históricos			
Factor	Intervalos o categorías		Atributo relativo
inclinación de los taludes	42° a 81°		1.8
Altura	Menos de 200m		0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros		0.4
Factores geotécnicos			
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.		1.5
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Mas de 45°	0.9
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	0°	0.7
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°	0.2
Factores morfológicos y ambientales			
Evidencias geomorfológicas de “huecos” en laderas contiguas	Volúmenes moderados		0.5
vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas		2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente		0
TOTAL			9.1
Rango de susceptibilidad			Alta

445

446

447

Ficha de susceptibilidad N°3

448

Ficha de susceptibilidad N°3		
Factores topográficos e históricos		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8
Altura	Menos de 200m	0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4
Factores geotécnicos		
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Espesor de la capa de suelo	5 a 10 m
	Echado de la discontinuidad	Mas de 45°
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	0° a -10°
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°
Factores morfológicos y ambientales		
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados	0.5
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0
TOTAL		9.7
Rango de susceptibilidad		Alta

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

Ficha de susceptibilidad N°4

466

Ficha de susceptibilidad N°4		
Factores topográficos e históricos		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8
Altura	Menos de 200m	0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4
Factores geotécnicos		
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5
	Espesor de la capa de suelo 10 a 15m	1.4
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad Mas de 45°	0.9
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud 0° a 10°	0.5
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud Menos de 5°	0.5
Factores morfológicos y ambientales		
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	volúmenes moderados	0.5
vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0
TOTAL		10.1
Rango de susceptibilidad		Muy Alta

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

Ficha de susceptibilidad N°5

483

Ficha de susceptibilidad N°5			
Factores topográficos e históricos			
Factor	Intervalos o categorías		Atributo relativo
Inclinación de los taludes	Mas de 81°		2
Altura	Menos de 200m		0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros		0.4
Factores geotécnicos			
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.		1.5
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Mas de 45°	0.9
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	0° a 10°	0.5
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°	0.2
Factores morfológicos y ambientales			
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados		0.5
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas		2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente		0
TOTAL			9.1
Rango de susceptibilidad			Alta

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

Ficha de susceptibilidad N°6

505

Ficha de susceptibilidad N°6		
Factores topográficos e históricos		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8
Altura	Menos de 200m	0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4
Factores geotécnicos		
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m
	Echado de la discontinuidad	Mas de 45°
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	Mas de 10°
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°
Factores morfológicos y ambientales		
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados	0.5
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0
TOTAL		8.7
Rango de susceptibilidad		Alta

506

Ficha de susceptibilidad N°7

507

Ficha de susceptibilidad N°7		
Factores topográficos e históricos		
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8
Altura	Menos de 200m	0.6
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4
Factores geotécnicos		
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.	1.5
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad	Mas de 45°
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	0° a 10°
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°
Factores morfológicos y ambientales		
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados	0.5
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0
TOTAL		8.9
Rango de susceptibilidad		Alta

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

Ficha de susceptibilidad N°8

523

Ficha de susceptibilidad N°8			
Factores topográficos e históricos			
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	
Inclinación de los taludes	42° a 81°	1.8	
Altura	Menos de 200m	0.6	
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	Algunos someros	0.4	
Factores geotécnicos			
Tipo de suelos o rocas	Cuarzodioritas y granodioritas/tonalitas, rocas metamórficas.		1.5
	Espesor de la capa de suelo	Menos de 5 m	0.5
	Echado de la discontinuidad		Mas de 45°
	Angulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud	0° a 10°	0.5
	Angulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud	Mas de 30°	0.2
Factores morfológicos y ambientales			
Evidencias geomorfológicas de "huecos" en laderas contiguas	Volúmenes moderados	0.5	
Vegetación y uso de la tierra	Rocas con raíces de arbustos en sus fracturas	2	
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático inexistente	0	
TOTAL		8.9	
Rango de susceptibilidad		Alta	

524

525

CERTIFICACIÓN DE REVISIÓN DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente, Yo Davide Besenzon Venegas, Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), certifico que:

Con fecha 17 de febrero de 2022, los estudiantes Silvia Eloísa Hermenejildo De La A y Juan José Reinoso Méndez con números de identificación 0925629529 y 0301992855, de la Cohorte 1 y 2, respectivamente, presentaron la propuesta de su tema de titulación al Comité Académico del programa. Posteriormente, con fecha 07 de marzo de 2022, el Comité revisó y aprobó la propuesta mediante la resolución FICT-CA-GEOTEC-008-2022, cumpliendo con los requisitos establecidos para la aprobación del tema.

A partir de dicha aprobación, los estudiantes mantuvieron reuniones periódicas con el tutor designado, Luis Jordá Bordehore, para la elaboración y desarrollo de su proyecto de titulación, siguiendo los lineamientos establecidos por el programa. Con fecha 17 de septiembre de 2022, los estudiantes presentaron y sustentaron su proyecto de titulación ante el tribunal evaluador asignado, cumpliendo con el proceso formal de evaluación académica.

Por lo tanto, en calidad de Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia, certifico que el trabajo de titulación denominado **"Análisis comparativo entre Metodología de la Susceptibilidad a la Inestabilidad de Laderas y Método de Equilibrio Límite mediante caracterización geomecánica, en el tramo vial del Sector de la Represa San Francisco"**, realizado por los estudiantes Silvia Eloísa Hermenejildo De La A y Juan José Reinoso Méndez con números de identificación 0925629529 y 0301992855, respectivamente, ha sido revisado y evaluado conforme a los lineamientos y estándares establecidos por el programa.

Debido a circunstancias externas, no ha sido posible obtener las firmas de los involucrados (estudiante, tutor(es) y/o evaluadores). No obstante, en calidad de Coordinador del Programa, certifico que el proyecto cumple con los requisitos académicos y ha sido revisado para su presentación y archivo institucional.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
DAVIDE BESENZON VENEGAS

M. Sc. Davide Besenzon Venegas
Coordinador de la Maestría en Geotecnia