

Estabilidad de taludes en el puente sobre el río Copueno en Morona Santiago-Ecuador

Jorge Xavier Villazhañay Zúñiga

E-MAIL: jvillazhanay2642@pucesm.edu.ec

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí

Jorge Alexander Bucheli García

E-MAIL: jabucheli@puce.edu.ec

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil

RESUMEN

Zonas críticas de la carretera E45 (Troncal Amazónica), Provincia de Morona Santiago, Ecuador, tienen un alarmante historial de inestabilidades de taludes, que han bloqueado la vía e impactado negativamente a la población más vulnerable por las condiciones inseguras. En la presente investigación se evalúa la estabilidad de taludes de acceso al puente sobre el río Copueno, Provincia de Morona Santiago, Ecuador. Se reporta la caracterización geológica-geotécnica, los procesos que influyen en el desprendimiento de materiales, evaluación y análisis de los estados límites de falla de los sitios de inestabilidad.

PALABRAS CLAVES:

estabilidad, parámetros geotécnicos, taludes.

Slope stability on the bridge over the Copueno River in Morona Santiago-Ecuador

ABSTRACT

Critical areas of the E45 highway (Troncal Amazónica), Morona Santiago Province, Ecuador, have an alarming history of slope instability, which have blocked the road and negatively impacted the most vulnerable population due to unsafe conditions. In the present investigation, the stability of access slopes to the bridge over the Copueno River, Morona Santiago, Ecuador Province, is evaluated. The geological-geotechnical characterization, the processes that influence the detachment of materials, evaluation and analysis of the limit states of failure of the instability sites are reported.

KEYWORDS: stability, geotechnical parameters; slopes.

01 INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de masa son uno de los desastres naturales que más daño producen a una población, en comparación a las inundaciones y terremotos (Gartner 2023; Pourghasemi et al. 2023; Suárez 2009; Zumba 2023); particularmente en Ecuador esta problemática ha sido de gran impacto en el ámbito socioeconómico y ambiental, sobre todo para la población y sectores más vulnerables, donde las pérdidas económicas, materiales y hasta humanas, son alarmantes; por lo anterior la evaluación adecuada de taludes en este país se ha vuelto un desafío (Zumba 2023; Loor et al. 2020; Ávila 2021; Rivera 2022; Patín 2022).

Un elemento importante en el diseño de la estabilidad de taludes es el factor de seguridad a largo plazo, con el cual se puedan prevenir amenazas y daños en deformaciones que desencadenen la rotura de suelos y formación de fallas intrínsecas en el talud. De acuerdo a esta premisa, la evaluación de taludes debe involucrar la determinación de su estabilidad y establecimiento de medidas de prevención y mitigación que permitan reducir los niveles de amenaza (Loor et al. 2020; Nebeokike et al. 2020; Kardani et al. 2021; Fu et al. 2020; Tien et al. 2019).

En la presente investigación se reporta la evaluación de la estabilidad de talud en la vía de acceso al puente sobre el río Copueno, provincia de Morona Santiago, Ecuador. Los taludes de este tramo de vía, han sufrido desprendimientos continuos de material que han llegado a bloquear parcial y totalmente la carretera E45; donde, al ser una vía de alto tráfico en el país, que conecta la ciudad de Macas con la ciudad de Puyo, urbanizaciones, cantones y poblados ubicados al este de esta ciudad, la estabilización de este sitio crítico es de alta prioridad para la provincia. La inestabilidad del este talud se ha asociado a factores naturales y antrópicos que se agudizan en épocas de invierno; presentando algunos escarpes, grietas y levantamientos en vías y veredas. Se realizó la caracterización geológica-geotécnica del sitio, se identificaron los procesos que influyen en el desprendimiento de materiales, se evaluaron y analizaron los estados límites de falla de los sitios de inestabilidad; información que a futuro será valiosa para proponer medidas de estabilización o mitigación.

02 ASPECTOS GENERALES

SITIO DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Morona, salida de la ciudad de Macas hacia Puyo, zona alta de la carretera E45-Troncal Amazónica (UTM WGS-84: 821014 E y 9744938 N). El sitio abarca varias zonas de desprendimiento de materiales en un tramo de 450 metros de vía, previo al acceso al puente sobre el río Copueno (ciudad de Macas). Entre la ciudad y la vía existe una diferencia en cota de 80 m aproximadamente y en el talud existe una plataforma intermedia que en ciertos tramos se extiende a un ancho de hasta 60 m (figura 1).

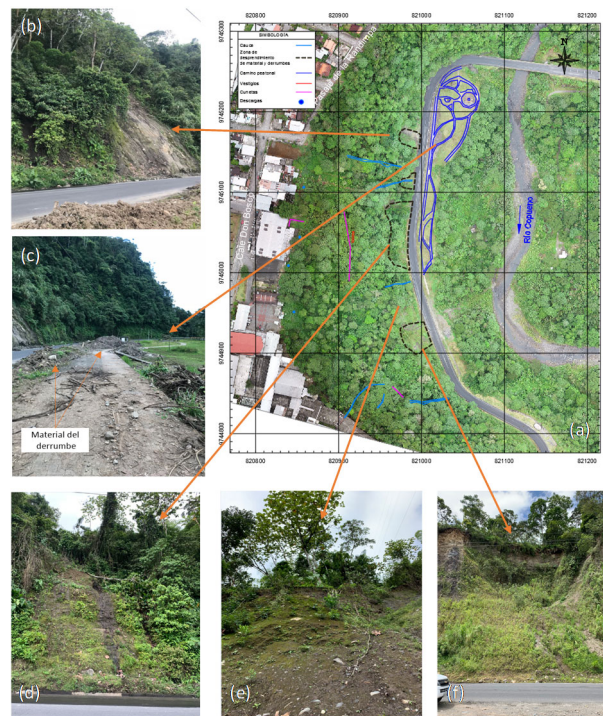


Figura 1. Zonas de desprendimiento de material y derrumbes.

GEOLOGÍA LOCAL

En la figura 2, se presenta el perfil geológico del corte C-C', como ejemplo de los tres perfiles analizados en la presente investigación. La formación Mera se constituye de conglomerados polimícticos con clastos volcánicos y trazas de rocas metamórficas o intrusivos englobados en una matriz arenosa. Los clastos son mayormente redondeados, con intercalación de areniscas poco compactas. En la plataforma intermedia se encontraron depósitos coluviales y suelos residuales producto de la meteorización de la formación Mera. En la zona inferior existen materiales de escombreras que se colocaron sobre depósitos aluviales y sobre la misma formación. En cuanto a terrenos inestables, el sitio comprende deslizamientos traslacionales superficiales puntuales de material coluvial y residual sobre un estrato más compacto y resistente. Los deslizamientos se clasificarían como deslizamientos latentes, ya que en épocas invernales éstos se podrían activar.

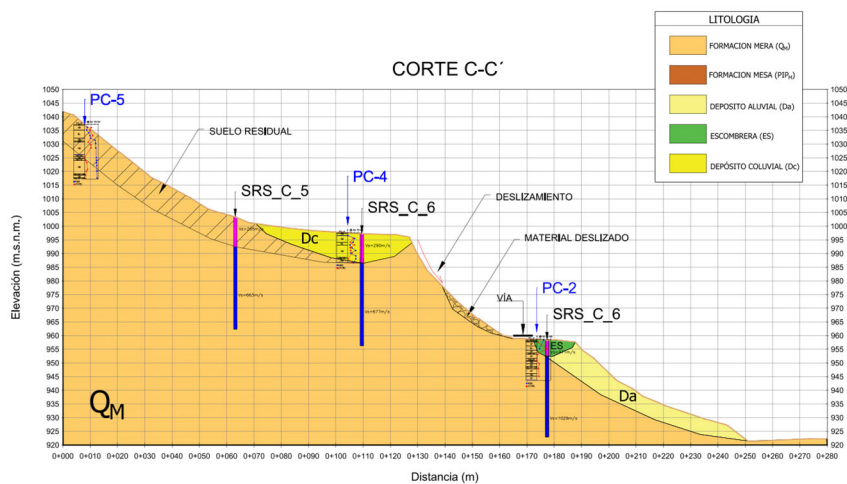


Figura 2. Perfil geológico C-C.

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Se realizaron ensayos mecánico y geofísicos. Los ensayos directos consistieron de seis perforaciones (SPT) ejecutadas con la metodología de roto-percusión y de nueve calicatas. Las perforaciones PC-01, PC-02, PC-03 y PC-04 se realizaron con un martillo tipo dona (“Donut hammer”); la altura de caída fue de 76 cm y el peso del martillo de 140 lb. En tanto que, en las perforaciones PC-05 y PC-06 el martillo utilizado fue de seguridad (“Safety hammer”). Diversos autores (Robertson and Wride 1997; McGregor and Duncan 1998) recomiendan los factores de corrección por energía (CE). En base a estos rangos, se ha adoptado un factor CE de 0,72 y 0,96 para los martillos “Donnut” y “Safety”, respectivamente. En las tablas 1 y 2, se presenta la información de las perforaciones y calicatas, respectivamente.

Tabla 1. Información de los sondeos SPT.

Sondeo SPT	Coord. X	Coord. Y	Profundidad del Sondeo (m)	Profundidad del Nivel Freático (m)	Tipo de Martillo Utilizado
UCUENCA (2019)					
PC-01	821021	9745146	22	No identificado	Donnut
PC-02	821006	9744993	15	No identificado	Donnut
PC-03	820939	9745076	12.5	No identificado	Donnut
PC-04	820945	9744938	11	1.10	Donnut
PC-05	820835	9744999	20	11.10	Safety
PC-06	820874	9745189	29	10.05	Safety
TECNOSUELOS (2012)					
P-01 (existente)	820984	9744905	6.0	5.0	-
P-02 (existente)	820981	9744858	2.0	4.0	-
P-03 (existente)	820968	9744873	5.0	4.0	-

Tabla 2. Información de las calicatas.

Calicata	Coord. X	Coord. Y	Profundidad (m)	Profundidad del Nivel Freático (m)
UCUENCA (2019)				
CC-1	820887	9745073	3.7	No identificado
CC-2	820908	9744995	2.4	0.50
CC-3	820912	9744917	2.5	1.2
CC-4	820950	9745202	4.2	No identificado
CC-5	820999	9745151	2.3	0.30
CC-6	820982	9745052	2.1	0.3
CC-7	821013	9745173	0.9	No identificado
CC-8	821025	9744909	2.5	1.70
CC-9	821003	9744927	2.5	0.30
TECNOSUELOS (2012)				
C-1	820931	9744884	2.0	1.2
C-2	821000	9744874	2.0	1.2
C-3	820886	9744959	2.0	1.0
C-4	820940	9744960	2.0	0.2
C-5	821010	9744908	2.0	No identificado

En las tablas 3 y 4, se presentan los ensayos de la geofísica. Nueve ensayos de refracción sísmica (SRS), a través de 9 líneas de 110 m de longitud; siete ensayos de tomografía eléctrica (TE), a través de 7 líneas de 110 m de longitud y cuatro ensayos de análisis multicanal de ondas espectrales (MASW) combinados con análisis de medición de microtemores (ReMi), a través de 4 líneas de 110 m de longitud.

Tabla 3. Ensayos de geofísica.

Perfil	INICIO		FIN	
	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y
Resistividad Eléctrica				
SEV-1 (existente)	820920	9744878	-	-
SEV-2 (existente)	820945	9744893	-	-
SEV-3 (existente)	820976	9744913	-	-
SEV-4 (existente)	821016	9744946	-	-
Sísmica de Refracción				
L-01(existente)	820868	9744950	820937	9744867
L-02 (existente)	820846	9744934	820916	9744851

Tabla 4. Ensayos de geofísica.

Perfil	INICIO		FIN	
	Coord. X	Coord. Y	Coord. X	Coord. Y
Ensayos de Sísmica de Refracción (SRS)				
SRS_C_1	820877	9745135	820931	9745223
SRS_C_2	820906	9745139	820960	9745231
SRS_C_3	820842	9745011	820858	9745117
SRS_C_4	820914	9744998	820918	9745106
SRS_C_5	820946	9744867	820882	9744952
SRS_C_6	820988	9744864	820929	9744955
SRS_C_7	821034	9744891	820999	9744995
SRS_C_8	821002	9744999	821005	9745108
SRS_C_9	821006	9745116	821019	9745224
Ensayos MASW+MAM				
RM_C_1	820877	9745135	820931	9745223
RM_C_2	820914	9744998	820918	9745106
RM_C_3	821002	9744999	821005	9745108
RM_C_4	820946	9744867	820882	9744952
Ensayos de Tomografía Eléctrica (TE)				
TE_C_1	820877	9745135	820931	9745223
TE_C_2	820906	9745139	820960	9745231
TE_C_3	820842	9745011	820858	9745117
TE_C_4	820914	9744998	820918	9745106
TE_C_5	820988	9744864	820929	9744955

03 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE BLOQUES

Para la determinación de los parámetros de resistencia de elementos rocosos, producto de mezclas complejas como “bimrocks” o “bimsoils”, se utilizó el método de Pitágoras referido por Kalender et al. (2014). El valor del contenido volumétrico de bloques (VBP) se obtuvo a partir del porcentaje de bloques de las perforaciones siguiendo lo descrito por Medley and Zekkos (2011). En la tabla 5 se resumen los porcentajes de medición de bloques en las perforaciones ejecutadas.

Tabla 5. Porcentaje lineal de VBP en las perforaciones realizadas.

Perforación	Profundidad (m)			Bloques (%)
	Desde	Hasta		
PC-1	0,8	7,5	1,76	26
PC-1	9,0	19	1,79	18
PC-2	0,5	5,5	0,58	12
PC-2	5,5	14,5	1,53	17
PC-3	5,5	12,0	0,96	15
PC-4	4,5	7	0,36	14
PC-5	6,0	12,5	0,97	15
PC-5	12,5	18,0	0,82	15
PC-6	14	18,6	1,27	28
PC-6	18,6	29,0	2,19	21

Además, se determinó el valor de VBP en las zonas de materiales deslizados, donde se observa los bloques dentro de la matriz de suelo, mediante la relación del área de bloques en el talud con respecto al área total muestreada. En la figura 3, se muestra el talud evaluado, en el cual se observó la concentración más uniforme de bloques y con menor vegetación. El valor de VBP del talud corresponde a 15 % de materiales de bloques, con el cual se verificó las mediciones de las perforaciones.



Figura 3. Talud evaluado de la vía de acceso al puente Copueno.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA MATERIALES “BIMROCK”

Para la caracterización de los parámetros de resistencia en los análisis de estabilidad se ha adoptado la metodología de Medley (1997). De acuerdo a la caracterización geológica-geotécnica y al porcentaje de bloques identificados en las perforaciones, se han diferenciado varias zonas de “Bimrock”. La primera es una zona de conglomerados compactos que afloran hacia la vía; sobre este material se ha diferenciado una segunda zona de conglomerados (conglomerados superiores) que, aunque muestra un contenido de bloques similares, presenta valores de resistencia menores a la compresión simple. Una tercera zona correspondió a los materiales de transición de depósitos residuales a conglomerados, la cual presenta propiedades significativamente menores y son parte de la zona de desprendimientos. Debido a la cantidad significativa de bloques identificados en los materiales de escombros, éstos también se han definido como materiales “Bimrock”. En la tabla 6, se presenta los valores de VBP a partir de las perforaciones para las diferentes zonas descritas y en la tabla 7 los porcentajes de bloques.

Tabla 6. Medición del porcentaje de bloques de acuerdo a Medley (1997).

Zona	Bloques (%)	L (m)	e (m)	Ndmax	Incertidumbre (ξ)	VBP (%)
Conglomerado Superior	21	10,1	1,0	10,1	0,28	15
Conglomerado Compacto	19	29,4	1,0	29,4	0,22	15
Arena 2	15	9,0	0,5	18,0	0,31	10
Escombrera	19	9,45	0,5	18,9	0,25	14

Tabla 7. Parámetros adoptados para los materiales de Bimrock.

Parámetro	Zona				Observación
	Arena 2	Congl. superior	Congl. compacto	Escombrera	
Proporción volumétrica de bloque, VBP (%)	10	15	15	15	Obtenido de mediciones del porcentaje de bloques en los taludes y en las perforaciones, siguiendo la metodología de Medley and Zekkos (2011)
Ángulo de fricción de los bloques, α (°)	35	33	33	25	Valor estimado de acuerdo a la angularidad de los bloques
Ángulo de fricción de la matriz de suelo Φ_{matrix} (°)	35	35	30	35	Obtenido de la correlación con el número de golpes (N60)
Resistencia a la compresión uniaxial matriz, UCS _{matrix} (MPa)	0,05	0,27	1,3	0	Valor obtenido de ensayos de compresión simple realizados en núcleos de materiales coluviales
Parámetro de corrección A	0,2	4	30	0,12	Estimado de acuerdo a Kalender et al. (2014)
Resistencia a la compresión uniaxial bimrocks UCS _{bimrock} (MPa)	0,04	0,25	1,27	0	
Ángulo de fricción del Bimrock $\Phi_{Bimrock}$ (°)	33,7	35,9	31,2	35,1	
Constante de control del contraste de fuerza entre Bimrock y matriz C _{Bimrock} (kPa)	11	64	358	0	

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RIGIDEZ

Para la caracterización geotécnica dinámica de los materiales, se utilizaron los resultados de las mediciones de onda de corte (V_s) y a partir de los ensayos geofísicos se estimaron los valores de la velocidad de onda de corte ponderada en los 30 primeros metros de suelo (V_{s30}). Además, a partir de la V_s fue posible estimar el módulo de corte del suelo y, mediante la teoría de la elasticidad, el módulo de Young. En la tabla 8 se presentan los resultados. Se puede observar que el sitio se clasifica como suelo tipo C, de acuerdo a la norma ecuatoriana NEC-15 (basada en norma Internacional SUCS), para los ensayos ejecutados en la plataforma intermedia, en la zona superior y en un ensayo ejecutado en la vía E45. Sin embargo, los ensayos SRS-C-8 y SRS-C-9, se presentan como perfiles Tipo B debido al contraste en un material con velocidades superiores a 1000 m/s.

Debido a los diferentes materiales identificados a lo largo de las perforaciones que la geofísica no puede capturar, en el caso de los materiales de arcilla superficial los módulos se determinaron a partir de los ensayos de laboratorio, utilizando el módulo obtenido del ensayo triaxial; mientras que, para los materiales de arena que subyacen a las arcillas, se emplearon correlaciones con el número de golpes (Bowles 1997) y se verificaron con valores característicos de acuerdo a Look (2007).

Tabla 8. Módulo de Young (E_{50}) para los ensayos geofísicos.

Ensayo	V_s (m/s)	$h_{promedio}$ (m)	V_{s30} (m/s)	Tipo de Suelo (NEC-15)	γ (kN/m)	G_{max} (kPa)	ν	E_{max} (kPa)	E_s/E_{max}	E_s (kPa)
SRS_C_1	302	14,86	438	C	17	158211	0,30	411349	0,05	20567
	785	15,14			18	1131842	0,25	2829605	0,05	141480
SRS_C_2	275	13,27	437	C	17	131186	0,30	341084	0,05	17054
	818	16,73			18	1229003	0,25	3072508	0,05	153625
SRS_C_3	305	14,32	474	C	17	161370	0,30	419562	0,05	20978
	959	15,68			18	1689210	0,25	4223025	0,05	211151
SRS_C_4	295	13,96	432	C	17	150962	0,30	392501	0,05	19625
	726	16,04			18	968099	0,30	2517057	0,05	125853
SRS_C_5	265	12,73	405	C	17	121819	0,30	316729	0,05	15836
	663	17,27			18	807372	0,30	2099166	0,05	104958
SRS_C_6	290	14,52	411	C	17	145888	0,30	379308	0,05	18965
	677	15,48			18	841829	0,30	2188755	0,05	109438
SRS_C_7	471	10,03	737	C	17	384826	0,30	1000548	0,05	50027
	1029	19,97			18	1944810	0,25	4862025	0,05	243101
SRS_C_8	624	14,31	794	B	17	675448	0,30	1756165	0,05	87808
	1058	15,69			18	2055975	0,25	5139937	0,05	256997
SRS_C_9	385	7,19	763	B	17	257125	0,30	668525	0,05	33426
	1105	22,81			18	2242699	0,25	5606747	0,05	280337

DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AGUA

Se instalaron piezómetros en las perforaciones PC-3, PC-4 y PC-6. En la figura 4, se presentan las mediciones del nivel de agua desde la instalación de los piezómetros en enero de 2019 hasta febrero de 2019; observándose una estabilización en las mediciones. Las mediciones del nivel freático se utilizaron en la caracterización geotécnica y en los análisis de estabilidad.

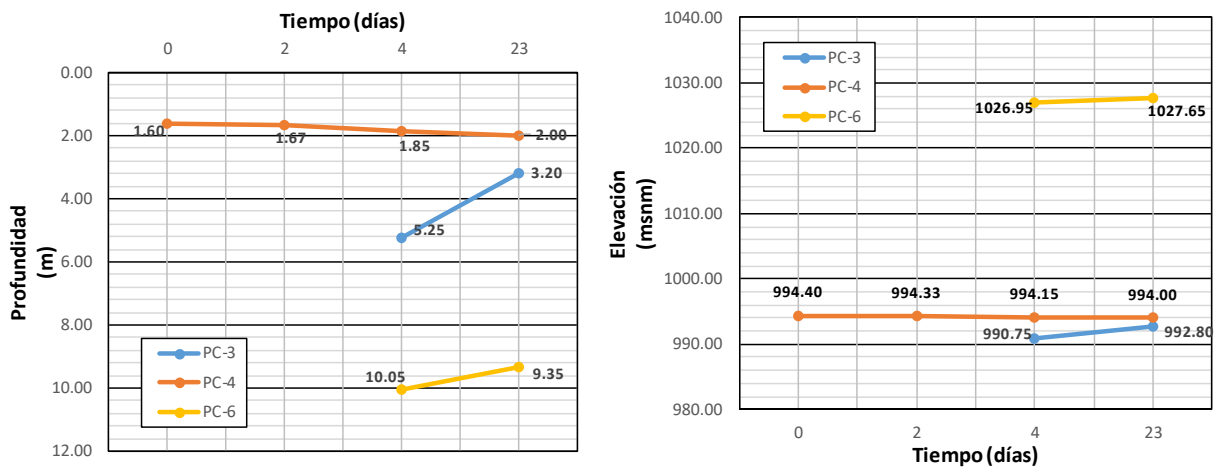


Figura 4. Mediciones del nivel de agua en los piezómetros de las perforaciones PC-3, PC-4 y PC-6. Izquierda: profundidades y Derecha: elevaciones.

DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES ESTRATIGRÁFICAS

Con los perfiles geotécnicos se captaron las diferentes zonas de inestabilidad en el sentido del deslizamiento (Perfiles A-A', B-B' y C-C', figuras 5, 6 y 7). Los perfiles tienen una dirección SO-NE y comprenden el área de la ciudad en la zona superior del perfil, la plataforma intermedia, la vía de acceso al puente sobre el río Copueno y el río Copueno en la zona inferior. En el perfil A-A', no existe una plataforma intermedia en el talud como se observa en los otros perfiles, y en éste se ha incluido además el perfil del terreno en el año 2014 obtenido de la ortofoto del SigTierras, mientras que, en los otros perfiles, debido a la extensa vegetación no fue posible obtener un perfil que refleje las condiciones del terreno en el 2014. En los perfiles se presenta la variación espacial de los materiales de acuerdo a los resultados de los ensayos SPT, calicatas y geofísica. Los símbolos de interrogación indican zonas en las que no se cuenta con exploración geotécnica y se asume la estratigrafía. En los perfiles se ha incluido el número de golpes del ensayo SPT y el contenido de finos de las muestras ensayadas de las perforaciones. El nivel freático se ha definido a partir de lo identificado al momento de la perforación y del monitoreo mediante piezómetros. Para la descripción de las series estratigráficas se ha considerado la información obtenida de la exploración geotécnica, resultados de laboratorio y correlaciones realizadas de los parámetros geotécnicos. El grado de compacidad y la rigidez de los materiales de grano grueso y fino, respectivamente, se definieron de acuerdo a los rangos descritos por Look (2007).

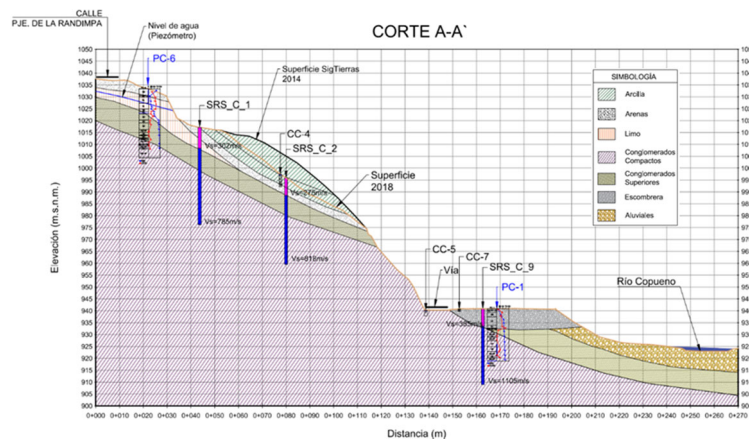


Figura 5. Perfil geotécnico: A-A'.

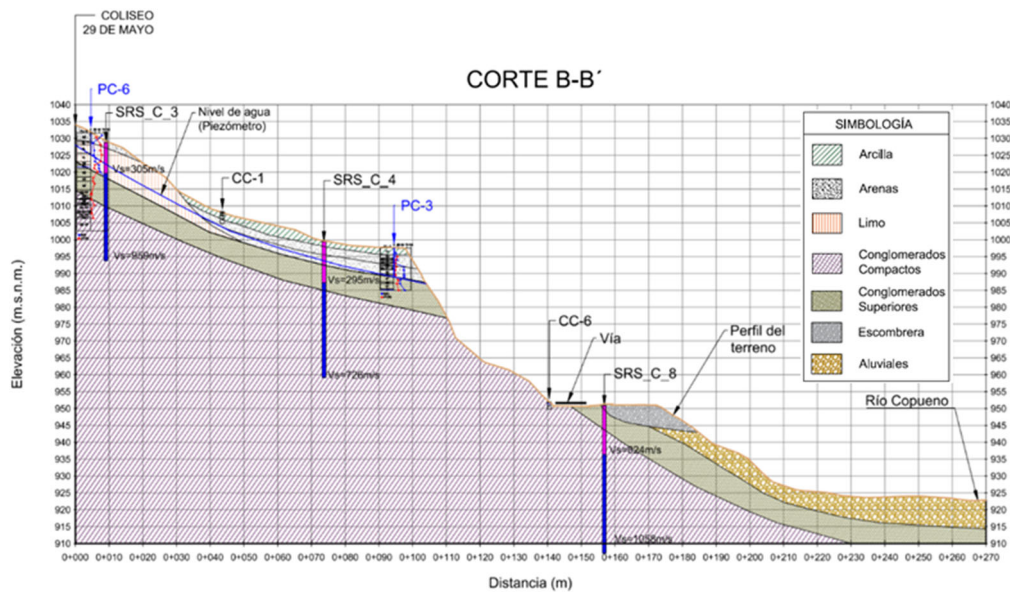


Figura 6. Perfil geotécnico: B-B´.

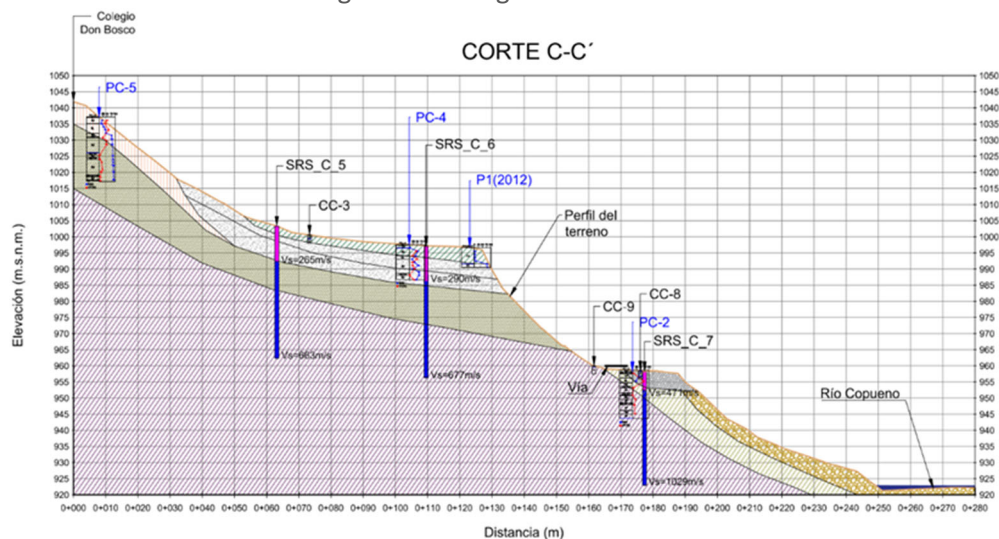


Figura 7. Perfil geotécnico: C-C´.

05 CONCLUSIONES

Debido a la extensión del sitio de estudio, se dividió el área en dos zonas. La zona 1 comprende las perforaciones PC-3, PC-4, PC-5, PC-6 y P-1 y las calicatas CC-1, CC-2, CC-3 y CC-4 y la zona 2 las perforaciones PC-1 y PC-2 y las calicatas CC-5, CC-6, CC-7, CC-8 y CC-9:

-En la zona 1, los materiales identificados, de acuerdo a la clasificación SUCS, corresponden superficialmente a arcillas y limos de baja y alta plasticidad; con un contenido de humedad mayor al 70 %, un límite líquido promedio del 60 % y un índice de plasticidad, de acuerdo a los ensayos de laboratorio en muestras extraídas de calicatas, que varía entre 9 y 17 %. El gran contenido de agua es consistente con la acumulación de humedad en la zona de la plataforma intermedia. Dado el tipo y características del terreno, para la determinación de su carga útil se consideró la prueba de compresión simple. El número de golpes fue de 4 a 12 y la resistencia promedio no drenada (S_u) de 35 kPa. En la zona superior de la plataforma se identificaron en las perforaciones P-5 y P-6 limos de baja plasticidad (ML), que presentan un número de golpes de 25 a 40, que se incrementaron con la profundidad. Además, a partir de las perforaciones se identificaron materiales de grano grueso con

intercalaciones de arcillas y gravas que en varios casos resultaron en reportes de rechazo en las perforaciones. El contenido de agua fue menor al 40 % y el número de golpes varía entre 20 y 40. Estos materiales forman parte de la zona de material susceptible a erosionarse y a caer hacia la vía. Por otro lado, se identificó a los conglomerados de la formación Mera. El contenido de bloques fue de alrededor del 15 % y el número de golpes varió de 50 hasta el rechazo. Estos materiales presentaron una matriz cementada, por lo que en las perforaciones de mayor profundidad (PC-5 y PC-6) se pudieron extraer muestras mediante la ejecución de rotación. En estas muestras se realizaron ensayos de compresión simple, obteniendo valores que varía entre 440 kPa, a una profundidad de 15 m, y 1800 kPa, a una profundidad de 24 m desde la zona superior. Se espera que a mayor profundidad los materiales tengan mayor resistencia. Debido a la variación en resistencia de estos materiales, se dividió el talud en un estrato de conglomerados intermedios y conglomerados compactos, que se extienden hasta la vía E45. De acuerdo a lo observado en los registros de perforación y a las visitas al sitio de estudio, la zona de inestabilidad no se profundiza en estos estratos. La erosión por el agua, afectaría en la zona superior de esos materiales, siendo el límite de la zona de materiales susceptibles a caer hacia la vía. Además, debido a que estos materiales presentan una elevada cementación a mayor profundidad, se presenta una barrera para el flujo de agua. Esto es consistente con las observaciones en el sitio de estudio al identificarse gran cantidad de agua proveniente desde la zona superior del talud. Mediante los ensayos de geofísica (SRS-C-1, SRS-C-2, SRS-C-3, SRS-C-4, SRS-C-5), se identificó un material superficial con velocidad de onda de corte (V_s) que varía entre 265 y 305 m/s, con una profundidad entre 7,5 m, en el perfil A-A', a 12 m, en el Perfil C-C'. Este primer material identificado en los perfiles de sismica de refracción estaría relacionado a los materiales de arcilla y arenas identificados dentro de los primeros estratos en las perforaciones y calicatas. A continuación, el valor de V_s se incrementó a valores de entre 663 y 959 m/s, resultado asociado a los conglomerados de la formación Mera. Adicionalmente, a partir de los ensayos de resistividad eléctrica se verificó las zonas de mayor saturación, identificándose que gran parte del área presenta afloramientos y acumulaciones superficiales, siendo consistente con lo observado en el sitio y en las perforaciones.

-La zona 2, abarca el área de la vía E45 y el borde derecho, hasta el río Copueno. En esta zona se identificaron superficialmente gravas y arenas limosas con contenido natural de agua inferior al 35 %. El número de golpes del ensayo SPT varía entre 11 y 35; sin embargo, a mayor profundidad, debido a la significativa cantidad de bloques a lo largo de la perforación no se pudo realizar ensayos SPT o los números de golpes reportados indicaban el rechazo. De acuerdo a las perforaciones y a los perfiles geológicos, los escombros llegan a una profundidad de hasta 7 m. Dentro de estos materiales se identificaron estratos de arcilla puntuales de menor espesor, asociados a la deposición heterogénea característica de esos materiales. La velocidad de onda de corte (V_s) de estos materiales varía entre 385 y 624 m/s, indicando que presentan una compacidad densa. Además, de los escombros se identificaron conglomerados de la formación Mera y materiales aluviales. Los conglomerados de la formación Mera comprenden la continuación de los materiales identificados en la zona superior del talud, en el área de la ciudad (perforaciones PC-5 y PC-6); sin embargo, debido a que presentan valores de hasta 1105 m/s, corresponderían a conglomerados de mayor rigidez.

06 REFERENCIAS

Ávila Oñate L. D. y Bojorque J. (2021). "Comparativa entre los métodos pseudoestático y dinámico para la estabilidad de taludes mediante el método de elementos finitos. caso de estudio: terremoto de bahía de caráquez (2016)", Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica de Litoral, Ecuador.

- Bowles J.** (1997). *Foundation analysis and design*. The McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN:0-07-118844-4. United States.
- Gartner K.** (2023). "The Need for Additional Landslide Regulation: Examining Flooding Through a Case Study", *William & Mary Environmental Law and Policy Review*, vol. 4, no. 2, pp. 447. Virginia. United States.
- Kalender H., Sonmez E., Medley C., Tunusluoglu K. and Kasapoglu E.** (2014). An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks and bimsoils. *Engineering Geology*, vol. 183, pp. 65–79.
- Kardani N., Zhou A., Nazem M. and Shen S. L.** (2021). "Improved prediction of slope stability using a hybrid stacking ensemble method based on finite element analysis and field data", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol.13, no.1, pp. 188-201.China.
- Look B.** (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Lor Sierra D. E., Macías Sánchez L. K. y Loiza Ambuludi S. C.** (2020). "Estudio de la estabilidad de taludes de la vía garrapata-santa maría, entre las abscisas 7+ 900 y 63+ 040, provincia de Manabí, Ecuador", Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica de Litoral, Ecuador.
- Medley E.W. and Zekkos D.** (2011). Geopractitioner approaches to working with antisocial mélanges. Invited paper. In: Wakabayashi, J., Dilek, Y. (Eds.), *Mélanges: Processes of Formation and Societal Significance*, Geological Society of America Special Paper. 480, pp. 261–277. United States.
- Medley E.** (1997). Uncertainty in estimates of block volumetric proportions in melange bimrocks. *Proc. International Association of Engineering Geologists*, Athens, Greece.
- McGregor J. A. and Duncan J. M.** (1998). "Performance and Use of the Standard Penetration Test In Geotechnical Engineering Practice", Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA. United States.
- Nebeokike U. C., Igwe O., Egbueri J. C. and Ifediegwu S. I.** (2020). "Erodibility characteristics and slope stability analysis of geological units prone to erosion in Udi area, southeast Nigeria", *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 6, pp. 1061-1074.Springer. Germany.
- Patín Guaquipana G. O.** (2022). "Protección Biológica del talud junto al canal de riego Belisario Quevedo con dos especies arbóreas (*Acacia melanoxylon*),(*Alnus acuminata*), y una especie arbustiva (*Murraya paniculata*), en la Parroquia Belisario Quevedo, Cantón Latacunga", Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Pourghasemi H. R., Pouyan S., Bordbar M., Golkar F. and Clague J. J.** (2023). "Flood, landslides, forest fire, and earthquake susceptibility maps using machine learning techniques and their combination", *Natural Hazards*, vol. 116, no.3, pp. 3797-3816.Springer.
- Rivera Huaranga N.** (2022). "Estabilidad de taludes en la carretera Cruz Blanca–Choten, Cajamarca", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Escuela de Posgrado Unidad de Posgrado. Perú.

- Robertson P. K. and Wride C. E.** (1997). "Cyclic Liquefaction and its Evaluation Based on the SPT and CPT", Proceedings of the National Center for Earthquake Engineering Research, NCEER, Report No 970022. China.
- Suárez Díaz J.** (2009). Deslizamientos (Vol. I). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Colombia.
- Tien Bui D., Moayedi H., Gör M., Jaafari A. and Foong L. K.** (2019). "Predicting slope stability failure through machine learning paradigms", ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 8, no. 9, pp. 395. Switzerland.
- Zumba Calle J. V.** (2023). "Análisis de Estabilidad del Talud en la Vía al CRS Turi aplicando Ensayos Geofísicos", Bachelor's thesis, Facultad de Ciencia y Tecnología-Ingeniería Civil, Universidad del Azuay, Ecuador.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

[Jorge Xavier Villazhañay Zúñiga](#)

<https://orcid.org/0009-0003-3976-5545>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados, revisión y redacción del informe.

[Jorge Alexander Bucheli García](#)

<https://orcid.org/0009-0001-0641-2458>

Trabajó en el análisis e interpretación de los datos. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final del informe.