

Evaluación ingeniero-geológica del deterioro de las rocas en la provincia de Manabí, Ecuador

Miguel Ángel Chávez Moncayo¹
Rafael Guardado Lacaba²

mchavez@espol.edu.ec
rguardado@ismm.edu.cu

Resumen

La provincia de Manabí se encuentra en el litoral ecuatoriano. Posee características topográficas, geológicas, tectónicas, hidrológicas, sísmicas y geotécnicas que condicionan la ocurrencia frecuente de procesos y fenómenos geodinámicos que ocasionan movimientos de laderas y taludes. Para mitigarlos y controlarlos se propone una clasificación geotécnica de los suelos y rocas según la susceptibilidad al deterioro, que permite un nuevo enfoque en la evaluación geotécnica de laderas y taludes. La clasificación que se propone está basada en la modificación de los indicadores geotécnicos siguientes: espaciamiento de fracturas y abertura de rocas (A); resistencia lineal a la compresión de la roca intacta (B); acción del agua (C); y grado de meteorización, según ISRM (D), los cuales varían en puntuación y peso. La metodología propuesta ofrece información de las condiciones geotécnicas y revela factores de inestabilidad para los cuales deben aplicarse medidas de estabilización y de control de los procesos de alteración de las rocas.

Palabras clave

Clasificación geotécnica, estabilización de taludes, indicadores geotécnicos.

Recibido: marzo 2008 / Aceptado: septiembre 2008

¹ Escuela Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil. Ecuador.

² Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.

Engineering-geologic assessment on rocks deterioration in the province of Manabi, Ecuador

Abstract

The province of Manabí is located in the Ecuadorian coastal region. Frequent occurrence of geo-dynamic phenomena and processes related to slopes and hills activities is conditional to the topographic, geologic, tectonic, hydrologic, seismic and geo-technical characteristics of the area. To mitigate and control these occurrences, it has been suggested to classify soils and rocks from the geotechnical point of view based on the tendency to deterioration; hence, providing a new approach to the geotechnical assessment on hills and slopes. The proposed classification is based on the modified geotechnical indicators A, B, C and D, with varying marks and weight: A (Spacing of rock cracks and opening), B (Lineal resistance to intact rock compression (MPa)), C (Water activity) and D (Meteorization level, as per ISRM). The proposed methodology facilitated more detailed information on the geotechnical conditions, soil pattern and identification of instability factors; for which measures have to be applied for the stabilization and control of altering processes in rocks and slopes in the area of investigation.

Key words

Geotechnical classification, slope stabilization, geotechnical indicators.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Manabí, situada en el litoral ecuatoriano, posee características topográficas, geológicas, tectónicas, hidrológicas, sísmicas y geotécnicas que condicionan la ocurrencia frecuente de procesos y fenómenos geodinámicos que originan movimientos de laderas y taludes (Figura 1).

La zona estudiada comprende las provincias de Esmeraldas, Manabí, y Guayas. Manabí constituye el 35% de todo el territorio ecuatoriano y es a su vez la más habitada; en ella vive el 60% de la población ecuatoriana (Figura 2).

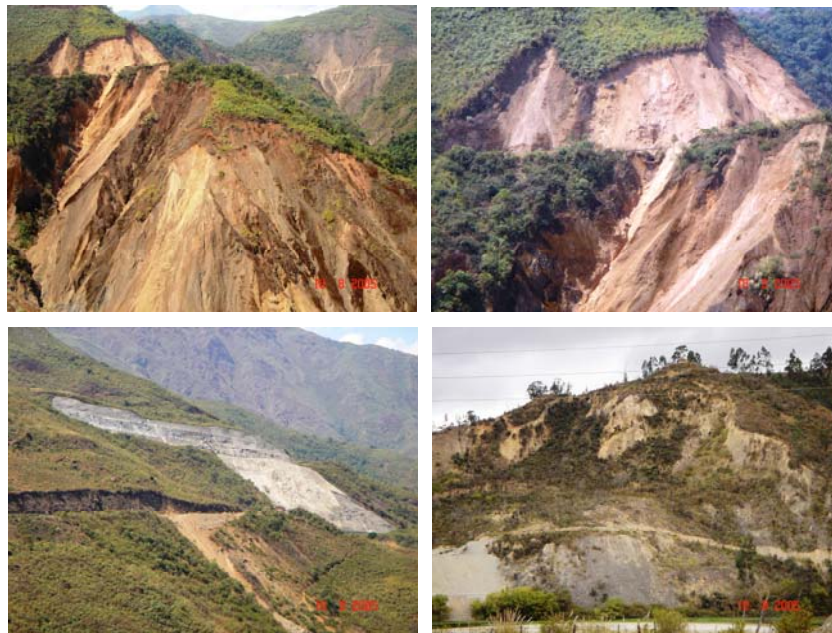


Figura 1. Características del terreno en Manabí. Observe el deterioro de los suelos y rocas.

El estudio del grado de deterioro (entendido éste como debilitamiento de la resistencia, cambio de su estado físico y variación del estado tensional en las laderas o taludes), es necesario para la evaluación ingeniero-geológica de este medio. Si bien la fuerza de la gravedad es la principal causa de los deslizamientos, en ella pueden incidir otras como las hidrostáticas, las hidrodinámicas, las sísmicas, la sobrecarga, la pérdida de la resistencia mecánica de los materiales que conforman el talud o ladera, entre otras.



Figura 2. Ubicación de la provincia de Manabí, Ecuador.

El estudio de la susceptibilidad al deterioro ofrece un nuevo enfoque para la evaluación de los deslizamientos; precisamente uno de los orígenes en la formación de los deslizamientos en la zona reside en el debilitamiento de la resistencia al corte de las rocas y suelos a consecuencia de los cambios del estado físico y del estado tensional en la zona de construcción de los taludes o de formación de las laderas. De ahí la necesidad de encontrar un método sencillo y práctico para evaluar el riesgo por movimiento de taludes y laderas.

Las rocas y suelos de la región de Manabí están afectados por el grado de meteorización (Figura 3) y su deterioro dificulta la aplicación de técnicas y métodos geotécnicos apropiados para abordar los problemas regionales de estabilización de terrenos. Es por ello, que el análisis y cuantificación del deterioro, permite prever el comportamiento futuro de estos materiales, y su influencia en la estabilidad de los taludes.



Figura 3. Estado físico-geológico de los taludes en el litoral costero de de Manabí, donde se observa el grado de deterioro de las rocas.

El debilitamiento de la resistencia de las rocas y suelos como consecuencia de los cambios físicos ha sido el objetivo del estudio, por lo que el propósito del estudio fue proponer una clasificación geotécnica de los suelos y rocas según la susceptibilidad al deterioro, y al mismo tiempo, brindar un nuevo enfoque para la evaluación geotécnica de laderas y taludes que puede ser utilizada para la prevención, mitigación y estabilización de riesgos por deslizamientos en el sector costero de Manabí.

Contexto geológico

La provincia costera de Manabí se establece en un área de antiguas terrazas marinas y en terrenos de variado relieve, con alturas que oscilan entre 400 y 600 metros sobre el nivel del mar. Las ciudades y obras viales están asentadas en colinas, cerros y montañas, asociadas a distintas cuencas hidrográficas donde tienen lugar diversos tipos de movimientos de laderas y taludes.

Las formaciones geológicas aparecen representadas en la Figura 4. Los espesores de las cortezas de meteorización desarrolladas sobre las formaciones geológicas más representativas del área estudiada se muestran en la Tabla 1.

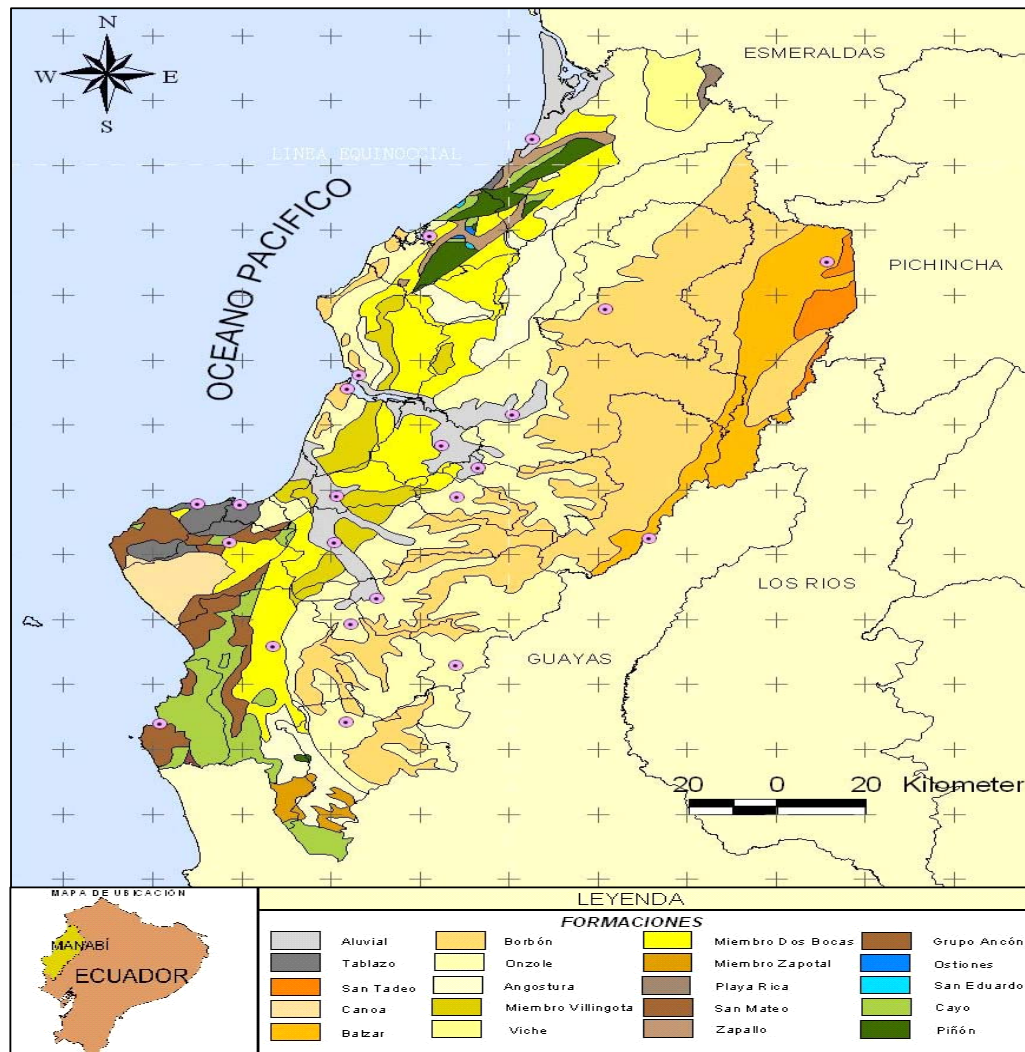


Figura 4. Formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

Las condicionantes que producen los movimientos de laderas o taludes son:

1. Particularidades climáticas de la región.
2. Régimen hidrológico de las cuencas.
3. Relieve del terreno.
4. Estructura geológica de las laderas y taludes,
5. Movimientos geológicos modernos y los fenómenos sísmicos.
6. Desarrollo de los procesos y fenómenos geológicos exógenos de acompañamientos.
7. Particularidades de las propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos.
8. Las actividades antrópicas.

Tabla 1. Espesores de corteza de meteorización de las formaciones estudiadas (Chávez-Moncayo, 2002 y 2007)

FORMACION GEOLÓGICA O DEPOSITO DE SUELO	ESPESORES DE METEORIZACION(e) (m)
Piñón	0,00 a 15,00
Piñón meteorizada	5,00 a 10,00
Cayo	1,00 a 13,00
San Mateo facie fina	0,50 a 11,00
San Mateo facie gruesa	0,50 a 15,0
Tosagua	0,50 a 20,00
Charapotó	0,50 a 20,00
Suelo residual sobre Fm. Onzole	0,50 a 20,00
Onzole meteorizada	0,50 a 20,00
Suelo residual sobre Fm. Borbón	0,50 a 20,00
Borbón meteorizada	0,50 a 20,00
Tablazo y Canoa	0,50 a 24,00
Depósitos coluviales antiguos	0,50 a 21,00
Terrazas aluviales	0,50 a 18,50
Aluviales recientes	0,50 a 22,00

Los factores anteriormente enumerados pueden ser detonantes según sus formas de manifestación. De acuerdo al contexto en el que se realice el análisis de inestabilidades de ladera, un mismo factor puede actuar como condicionante o como desencadenante.

MÉTODOS

La evaluación cuantitativa de la susceptibilidad al deterioro de suelos y rocas y a la ocurrencia de deslizamientos, se realizó fundamentalmente mediante los métodos propuestos por Rao y Gupta (1997) y por Nicholson y Hencher (1997), conocido como RSDA, así como las metodologías ROFRAQ, *Rock-Fall Risk Assesment for Quarries*; RHRS, *Rockfall Hazard Rating System* (Pierson et al., 1990) y RHRON, *Ontario Rockfall Hazard Rating*

System (Rockfall, 2002; Guardado & Almaguer, 2002). Teniendo en cuenta las particularidades geotécnicas de las rocas y suelos estudiados, se determinó que es la meteorización el factor ingeniero-geológico más influyente sobre el desarrollo e intensidad del deterioro, por lo que se empleó la clasificación RSDA. La Tabla 2 expone la modificación realizada por los autores a la clasificación ISRM para los macizos rocosos meteorizados. Los métodos de ROFRAQ, RHRS y RHRON se adaptaron a las condiciones ingeniero-geológicas de los taludes y laderas del sector costero del Ecuador; para ello se tomaron en consideración los indicadores geotécnicos A, B, C y D, que concuerdan con los de la metodología RSDA pero que varían en las puntuaciones y el peso (Tabla 3).

Tabla 2. Clasificación ISRM de los macizos rocosos meteorizados modificada por los autores

Término	Descripción	Grado
Sano	Ningún signo visible de meteorización del material rocoso. Alguna ligera decoloración de las caras de las discontinuidades principales.	I
Ligeramente meteorizado	La decoloración indica la meteorización del material rocoso y las superficies de discontinuidad. Todo el material puede estar decolorado por la meteorización y podría ser algo más débil externamente, que en su estado sano.	II
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos.	III
Altamente meteorizado	Más de la mitad del material rocoso se ha transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos.	IV
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso se ha descompuesto y/o transformado en suelo. La estructura del macizo original permanece prácticamente intacta.	V
Suelo Residual	Todo el material rocoso se ha convertido en suelo. La estructura del macizo y la textura del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Tabla 3. Clasificación de los parámetros de evaluación del grado de deterioro de las rocas

Parámetro A	Parámetro B	Parámetro C	Parámetro D
Espaciamiento entre discontinuidades y abertura de fracturas (mm)	Resistencia lineal a la compresión de la roca intacta (MPa)	Acción del agua	Grado de meteorización según ISRM
Puntuación máxima 35	Puntuación máxima 25	Puntuación máxima 20	Puntuación máxima 20
Espaciamiento >2000mm y grietas cerradas Puntuación: 2	Resistencia mayor que 200 Puntuación: 1	No hay acción preponderante del agua Puntuación: 1	Grado I Puntuación: 1
Espaciamiento entre 1000 y 2000 mm y abertura entre 0,1 y 0,5 mm. Puntuación: 6	Resistencia entre 100 y 200 Puntuación: 5	Muy poca acción del agua Puntuación: 4	Grado II Puntuación: 5
Espaciamiento de 600 y 2000 mm y abertura de 0,5 a 1 Puntuación: 12	Resistencia entre 50 y 100 Puntuación: 9	Hay acción apreciable del agua sobre la roca Puntuación: 8	Grado III Puntuación: 8
Espaciamiento de 100 a 600 mm y abertura de 1 a 2,5mm Puntuación: 20	Resistencia entre 15 y 50 Puntuación: 14	La acción del agua puede ser considerada significativa Puntuación: 12	Grado IV Puntuación: 10
Espaciamiento de 50 a 100 mm y abertura de 2.5 a 5mm. Puntuación: 27	Resistencia entre 5 y 15 Puntuación: 20	Se evalúa la acción del agua como intensa Puntuación: 16	Grado V Puntuación: 12
Espaciamiento menor que 50 mm y abertura mayor que 5 mm. Puntuación: 35	Resistencia menor que 5 Puntuación: 25	Se evalúa la acción como muy intensa Puntuación: 20	Grado VI Puntuación: 20

Para evaluar la susceptibilidad al deterioro (S_d) en un talud o ladera, se utilizó la ecuación propuesta Nicholson y Hencher (1997), integrándose los parámetros A, B, C y D:

$$S_d = f_a(A + B + C + D) + Ajuste$$

La puntuación se aplica uniformemente dentro del macizo rocoso estudiado. La valoración obtenida, por la suma de los 4 parámetros se afecta por un coeficiente (f_a) que se asigna a partir de los datos mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4 Valoración del factor adverso f_a (Nicholson y Hencher, 1997; López-Jimeno, 1999).

Factor adverso f_a	Puntuación
Localizado en una alta elevación	5 a 12
Excavación con explosivos, sin empleo de voladura de contorno	7 a 9
Situado próximo a una cantera donde se empleen trabajos de voladura	2 a 5
Estructura desfavorable del macizo	6 a 10

Tabla 5 Susceptibilidad al deterioro (López-Jimeno, 1999)

Clase	Puntuación	Descripción	Tratamiento que se propone para el talud
1	0 a 20	Muy baja	Mantenimiento y conservación mecánica. Revestimiento de canales de desvío, drenajes de pie, limpieza de derrubios, saneo si se requiere. Inspección regular.
2	20 a 40	Baja	Control de las consecuencias de la degradación mediante contención y protección del talud: mallas de alambre, geotextiles, técnicas de bio-ingeniería, cunetas de protección, bermas intermedias.
3	40 a 60	Media	Refuerzo del talud para controlar los procesos de degradación. Protección de la superficie: gunitado, recubrimiento con vegetación, bulones y cables de anclaje, etc.
4	60 a 80	Alta	Medidas de contención y soporte: construcción de estructuras de hormigón, gaviones, apuntalamientos y zanjeo. Sistemas de drenaje.
5	80 a 100	Muy Alta	Rediseño del talud; reducir su ángulo, empleo de bermas, aumentar ancho de las cunetas. Colocación de pantallas al pie del talud.

De acuerdo con el grado de susceptibilidad se clasifica el macizo rocoso en cinco clases (Tabla 5) definiéndose para cada una de ellas los criterios para el tratamiento a emplear en el talud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta para la valoración del grado de susceptibilidad al deterioro de las rocas y suelos en los diferentes sectores de estudio, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Grado de susceptibilidad al deterioro en los sectores estudiados

Sector de estudio	PUNTUACIÓN DE CADA PARÁMETRO				Valor obtenido de S_d
	A	B	C	D	
Cárton Sucre	20 a 30	12 a 16	10 a 16	12 a 16	De 61 a 78
Alajuela	22 a 20	18 a 22	10 a 14	10 a 16	De 68 a 84
Portoviejo	24 a 32	15 a 20	12 a 16	8 a 14	De 64 a 87
Manta	26 a 32	14 a 20	5 a 10	6 a 10	De 54 a 81
Montecristi	14 a 18	10 a 14	8 a 12	10 a 16	De 52 a 69
Jipijapa	18 a 26	12 a 18	9 a 14	8 a 14	De 54 a 76
Puerto López	18 a 28	12 a 18	9 a 14	10 a 15	De 55 a 83

Los valores del grado de susceptibilidad (S_d) representan los promedios obtenidos para cada sector, y dan una idea general de su variación en las diferentes áreas de estudio. Del análisis de los resultados se observa que la susceptibilidad al deterioro de las rocas y suelos, en los sectores estudiados se encuentra en un rango de mediana a alta, aunque existen puntuaciones límites que corresponden a la calificación de muy alta susceptibilidad. Así, para cada lugar específico se debe precisar el valor S_d , lo que permite encontrar soluciones técnicas más adecuadas para diferentes obras ingenieras en la zona.

La metodología propuesta, al tomar en cuenta diversas características de los macizos rocosos, facilita una mayor información a los investigadores. Así, por ejemplo, en sectores como Cantón Sucre, Alajuela, y Puerto López, que presentan una alta susceptibilidad al deterioro del material

rocoso (clase 4), para contrarrestar las inestabilidades relacionadas con esta alteración, deben encaminarse a la aplicación de medidas ingenieras.

Las condiciones del macizo rocoso y el comportamiento de los suelos manifiestan factores de peligrosidad elevada donde se hace necesario aplicar medidas de estabilización que permitan reforzar los taludes y controlar los procesos de alteración de los agentes de meteorización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chávez-Moncayo, M.A. 2002. Diseño de soluciones para controlar el proceso de erosión y colapso de taludes del río Porto Viejo. – Informe presentado a la Municipalidad de Porto Viejo, 200 p.
- Chávez-Moncayo, M.A. 2007. Análisis de las condiciones actuales del área de deslizamiento el Cantón Montecristi y obras de estabilización que se requiere construir para ejecutar el proyecto Ciudad de ALFARO. Informe al ministerio de obras públicas. Quito, Ecuador, 124 p.
- Guardado, R. & Almaguer, Yuri. 2002. Rocas y suelos como indicadores ingeniero- geológicos y Ambientales de estabilidad y sostenibilidad de taludes y de laderas. Curso Ibero-Americano de aplicaciones geomecánicas y geoambientales al desarrollo sostenible de la minería. Edit. Blanco Torrens y Carvajal Gómez. Ediciones Panorama Minero, Buenos Aires, Argentina. 69 - 84.
- López-Jimeno, C. 1999. Manual de estabilización y revegetación de taludes. Ediciones graficas Árias Montano. Madrid , España.
- Nicholson, D.T. & Hencher, S. 1997. Assesment the potential for deterioration of engineered Rock Slopes. Memorias " International Symposium of Engineering and the environment; Atenas, Grecia, 911-917.

- Pierson, L.A.; Davis, S.A. & Van Vickle. 1990. *Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual*. Edit. Federal Highway Administrations report FHWA-OR-EG-90-01, U.S. Department of Transportation.
- Rao, K.; Gupta, A. S. 1997. Assesment of parameters for rock Weathering. Classification case study of proyect India. Enviroment and Safety concerns in underground controtion. Edit. Balkema. 235 p.
- RockFall. 2002. Statistical analysis of Rockfalls. <http://www.rocscience.com/roc/software/RocFall.htm>.