

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Interdisciplinario

Título del proyecto:

Evaluación de la estabilidad de taludes en los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba, mediante la caracterización geomecánica, mineralógica y el modelamiento geostatístico de macizos rocosos para la reducción de la amenaza por FRM.

Investigación básica Investigación aplicada Investigación pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Geología
- 2.

LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. Evaluación de Amenazas por Fenómenos de Remoción en Masa.
- 2.
- 3.

Resumen de información del director y colaboradores del proyecto		
<u>Director</u>		
Apellidos y nombres	Departamento	Título de mayor nivel (Ing., M.Sc., Ph.D)
Jiménez Eliana	Geología	M. Sc.
<u>Colaborador(es)</u>		
Apellidos y nombres	Departamento	Título de mayor nivel Ing., M.Sc., Ph.D)
Cárdenas Cárdenas Diego Renato	Geología	M. Sc.
Cerón López Gonzalo Mauricio	Petróleos	M. Sc.

HOJA DE VIDA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

1. Geología
- 2.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Evaluación de Amenazas por Fenómenos de Remoción en Masa.
- 2.
- 3.

1 Proyecto de Investigación

Título:

Evaluación de la estabilidad de taludes en los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba, mediante la caracterización geomecánica, mineralógica y el modelamiento geostatístico de macizos rocosos para la reducción de la amenaza por FRM.

Resumen del proyecto

En los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba se ha venido realizando actividades de explotación de canteras de materiales de construcción durante las últimas décadas, modificando la morfología de sus taludes. La realización de las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos en éstos taludes basadas en los sistemas *Rock Mass Rating* (RMR), índice Q y *Geological Strength Index* (GSI), aportan información fundamental para evaluar la estabilidad en sus pendientes. El índice de calidad de la roca (RQD) es un parámetro esencial para los sistemas de clasificación RMR y Q, que depende de la disposición y propiedades mecánicas de las discontinuidades del macizo rocoso, y para obtener valores de RQD mejor adaptados a las condiciones actuales de los taludes, se realizará una modificación o ajuste del RQD en función de sus características mineralógicas. Mediante la geostatística se realizará un modelamiento de los macizos rocosos fundamentado en los datos obtenidos de sus clasificaciones geomecánicas (RMR, Q y GSI), para lograr una mejor distribución espacial y seleccionar la mejor clasificación que se acople de acuerdo a las litologías de los macizos rocosos considerados, para de esta forma elaborar mapas geotécnicos y de previsión a Fenómenos de Remoción en Masa (FRM).

Palabras clave (4-6): RQD, RMR, Q, GSI, Fenómenos de Remoción en Masa (FRM), Geostatística.



2 **Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación**

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Evaluar la estabilidad en los taludes naturales y modificadas (por obras de explotación de canteras) de los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba, mediante la caracterización mineralógica, geomecánica, y el modelamiento geoestadístico de los macizos rocosos, como aporte a la reducción de la amenaza por FRM.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Determinar la naturaleza geológica de las unidades litológicas aflorantes y la caracterización mineralógica en los taludes naturales del sector de San Antonio de Minas y San Antonio de Minas y Guayllabamba.
- b. Estudiar y determinar las propiedades físico – mecánicas de los macizos rocosos del sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba.
- c. Analizar el comportamiento y la disposición de las pendientes que conforman los taludes naturales seleccionadas a través de su caracterización geomorfológica.
- d. Realizar un ajuste en los valores de los parámetros de clasificaciones geomecánicas obtenidos, considerando las condiciones geológicas de las discontinuidades y matriz rocosa de los macizos rocosos del sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba.
- e. Generar un modelo geoestadístico de las propiedades geomecánicas de taludes consideradas.

2.2 Detalle de los resultados esperados

- a. Caracterización mineralógica de las unidades litológicas de los taludes del sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba.
- b. Caracterización físico – mecánica (geomecánica) de los macizos rocosos considerados.
- c. Proponer un modelo de ajuste del Índice de Calidad de la Roca (RQD), basado en las propiedades mineralógicas y en el análisis geoestadístico, para de las unidades litológicas del sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba.
- d. Modelo geoestadístico de propiedades geomecánicas de los taludes.
- e. Realización de un mapa geotécnico escala 1:10000 basado en clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos de los taludes del sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba,
- f. Evaluación de la amenaza debida a movimientos gravitacionales en masa (FRM) de los macizos rocosos que conforman los taludes para el sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba, a través de la aplicación del modelo geoestadístico, el mapa geotécnico y contrastando los valores de ángulos de pendientes con la calidad de la roca para la estimación de la estabilidad de los mismos.



3	Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación
	<p>El presente proyecto se enfoca en cubrir el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir. Objetivo 3: Mejorar la calidad de vida de la población. Política 3.11 Garantizar la preservación y protección integral del patrimonio cultural y natural y de la ciudadanía ante las amenazas y riesgos de origen natural o antrópico. Además, contribuye en su totalidad con el Objetivo 4: Fortalecer la capacidad y potencialidad de la ciudadanía. Política 4.2: Promover la culminación de los estudios en todos los niveles educativos. Política 4.5: Potenciar el rol de docentes y otros profesionales de la educación como actores clave en la construcción del Buen Vivir.</p> <p>Siguiendo los lineamientos del buen vivir para un adecuado desarrollo de infraestructura urbana al igual que en las obras de explotación de canteras, uno de los pedestales primordiales para su correcta función es el acertado conocimiento del comportamiento de los materiales de cimentación de las mismas, en este escenario el análisis y estudio del comportamiento físico-mecánico de macizos rocosos someros es una pieza clave en la búsqueda de soluciones que permitan obtener las directrices para establecer las prácticas apropiadas de construcción, que garantice la estabilidad de las estructuras para las cuáles fueron diseñadas durante su tiempo de servicio.</p> <p>En la Región Sierra del Ecuador a causa de su topografía muy accidentada, se tiene una alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa (FRM) en terrenos urbanos y rurales, por cuanto la investigación de los mecanismos de éstos fenómenos asociados a la calidad ingenieril de los distintos macizos rocosos es de gran ayuda para un desarrollo y ordenamiento territorial adecuado, garantizando seguridad en las distintas poblaciones, coadyuvando a elaborar y diseñar medidas de previsión en zonas amenazadas por deslizamientos, como también garantizar el adecuado funcionamiento de grandes obras de infraestructura como autopistas, presas, túneles, embalses entre otros.</p> <p>Los FRM en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) son un problema constante debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de la zona; además, el asentamiento ilegal de la población en laderas inestables, la construcción de taludes sin control técnico, con pendientes fuertes para vivienda o extracción de material de construcción, socavación del talud, construcción no planificada de viviendas en bordes de quebradas y zonas de alta pendiente, vías paralelas a la pendiente que aceleran los flujos de lodo; erosión de los taludes del cauce de las quebradas y suelos de las laderas por evacuación inadecuada de aguas servidas; y taponamiento de colectores por acumulación de basura y escombros arrojados en la quebrada (influencia antrópica) incrementan la probabilidad de generación de movimientos en masa.</p> <p>Desarrollar investigaciones relacionadas a la caracterización de macizos rocosos para una previsión de FRM en una zona de la Sierra Norte, se convierten en un apreciable aporte para la mejora de los usos adecuados de suelos, ya que actualmente existe una escasez de estudios relacionados con la mecánica de rocas en todo el país.</p>
4	Productos esperados
	<p>a. Publicaciones científicas (obligatorio);</p> <p>b. Disertación a la Comunidad Politécnica;</p> <p>c. Proyecto de Titulación;</p> <p>d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);</p> <p>e. Aplicación tecnológica construida o implementada;</p> <p>f. Patente presentada;</p> <p>g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/></p>



Descripción y metodología y diseño del proyecto

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto

5.1.1. Descripción:

El entendimiento de las características fundamentales de los movimientos gravitacionales en masa y de los factores principales que los controlan, viene siendo objeto de estudio desde hace varios años, por distintos especialistas en todo el mundo. La existencia de taludes rocosos naturales en áreas urbanas y rurales pueden generar problemas relacionados a su inestabilidad, que son causados mayormente por desconocimiento o despreocupación acerca de los factores geológicos y ambientales; y a un desarrollo poblacional e industrial no planificado sobre los taludes (15), mediante la evaluación de la calidad de los macizos rocosos, se pretende describir los factores que afectan a la estabilidad de los taludes.

La geomorfología en la zona de San Antonio de Minas y Guayllabamba se caracteriza por la presencia de taludes naturales bastante abruptas, además de que en las últimas décadas se ha venido realizando actividades de explotación artesanal de canteras para materiales de construcción modificando las pendientes naturales, ocasionando así que éstos sectores sean susceptibles a movimientos gravitacionales en masa (Fenómenos de Remoción en Masa).

Los datos de las propiedades de los macizos rocosos exhiben un alto o bajo grado de correlación espacial. Mientras la distancia entre dos datos en el espacio incrementa, la similitud entre las dos medidas disminuye. La Geoestadística es una rama de rápida evolución de la estadística aplicada y matemática que ofrece una colección de herramientas que cuantifican y modelan variabilidad espacial y direccionalidad dentro de un conjunto de datos (3). En términos geoestadísticos, se considera la calidad de los macizos rocosos, de una región, en cualquier tamaño, como la zonificación de procesos aleatorios (9). Por lo tanto, en el presente proyecto se considera la distribución espacial de una serie de parámetros muestreados que describen la calidad de la roca para crear un modelo basado en celdas de x , y , z dimensiones de propiedades que serán interpoladas mediante técnicas geoestadísticas como: modelamiento variográfico, kriging, simulación secuencial gaussiana e indicadora.

En el Ecuador son escasos los estudios de ordenamiento territorial y de caracterizaciones geomecánicas - mineralógicas de macizos rocosos, por esta razón, describir el comportamiento mineralógico y físico-mecánico de los materiales que conforman los taludes naturales y modificadas de los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba, va a contribuir a una apropiada previsión de amenazas por FRM, y adecuados usos del suelo.

5.1.2. Metodología: se desarrollaran las siguientes actividades:

a. Trabajo de gabinete que incluye revisión de la bibliografía existente acerca de geología del sitio de estudio, mecanismos de movimientos de masa, análisis de discontinuidades, análisis y usos de las clasificaciones geomecánicas.

b. Reconocimiento y levantamiento geológico de campo de las áreas objeto de estudio, con el fin de determinar las características de los cuerpos litológicos, de localizar, identificar y describir las características morfológicas y litológicas de los taludes, ayudados de información obtenida por sensores remotos (imágenes satelitales, modelos digitales del terreno, ortofotos). Acompañados de la elaboración de perfiles y secciones transversales a lo largo y ancho de la zona de estudio para obtener perfiles estratigráficos representativos.

c. Dentro de las quebradas se desarrollará lo siguiente: descripción general del afloramiento del macizo rocoso, división del macizo en zonas o bloques homogéneos, descripción de cada zona, descripción de los parámetros físico-mecánicos del macizo rocoso (ensayos in situ), caracterización global del macizo (5); para aplicar los sistemas de clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos conocidas: *Rock Mass Rating* (RMR) (2), el sistema Q (1) y el *Geological Strength Index* (GSI) (8). Logrando con esto un diagnóstico inicial de la estabilidad y de factores desencadenantes de los taludes, debidos a la inclinación de las pendientes, calidad ingenieril de macizos rocosos y actividades industriales (canteras), incluidos en el método Modos de Fallo y Análisis de Efectos Críticos (FMECA) (7).



d. En los sistemas de clasificaciones geomecánicas se consideran los parámetros de resistencia a la compresión simple (RCS) de la matriz rocosa y el índice de calidad de la roca (RQD). La RCS será obtenida directamente en el campo mediante la realización de ensayos con el martillo de Schmidt o esclerómetro. El índice RQD será evaluado en campo tomando en cuenta criterios empíricos cuando no se tiene disponibilidad de testigos de perforación (16), entonces los valores de RQD se van a obtener mediante dos métodos: cálculo de la densidad de las discontinuidades por unidad de volumen (J_v) (11), y del monitoreo de la línea de exploración o scanline sampling (12).

e. Campaña de recolección y extracción de muestras representativas de matriz rocosa para la descripción y caracterización mineralógica de los bloques o zonas de macizos rocosos homogéneos; y para la aplicación de factores de corrección del índice RQD basados en las características litológicas de la matriz.

f. Realizar un contraste entre los tres sistemas de clasificaciones geomecánicas (16) utilizados RMR, Q y GSI, para definir el método que mejor se ajusta o adapta en los macizos rocosos analizados para las diferentes unidades litológicas que se ubican en los sectores de San Antonio de Minas y Guayllabamba, en función de sus propiedades mineralógicas y físico-mecánicas.

g. Análisis y evaluación de los datos obtenidos para proceder con el modelamiento geoestadístico enfocado a la valoración de las condiciones de estabilidad de los taludes, considerando las características de inclinación de las pendientes y los valores de clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos. Además, se va a examinar profundamente los datos para encontrar errores, calcular la estadística descriptiva (estadística univariada) para cada variable e identificar como las variables se relacionan una con otra (estadística multivariada) El Análisis de datos puede ser categorizado en cuatro pasos: análisis univariado, análisis multivariado, transformación y discretización de la data.(14)

h. Modelamiento Variográfico: El primer procedimiento geoestadístico es obtener un variograma relacionado a una correlación regional de los parámetros de interés (10). Los pasos de la metodología son: Determinar y graficar variogramas experimentales en los cuales se establece las direcciones principales de continuidad basado en un conocimiento previo de geología. Posteriormente, se ajusta el variograma experimental a un variograma teórico. De esta manera se incorpora al modelamiento el resultado del cálculo variográfico en diferentes direcciones (6).

i. Interpolación: En este punto, se utilizará un método de interpolación conocido como kriging ordinario (6). De esta manera, se va a poblar la grilla en función de las variables aleatorias regionalizadas. Este procedimiento se lo realiza para modelar las diferentes propiedades de los macizos rocosos. El proceso de Kriging interpola valores para una grilla de puntos basado en un ponderado de los puntos que rodean al valor desconocido (13).

j. Validación del modelo: mediante la utilización de información geológica del área de estudio y de datos muestreados, se realizará un blind test con datos conocidos de las propiedades modeladas. De esta manera se va a validar el modelo geoestadístico y a cuantificar el error existente en el modelo de propiedades de macizo rocoso. En ese caso, se utilizará otro método de interpolación como el kriging simple, kriging universal o simulación gaussiana e indicadora.

k. Elaboración de un mapa de pendientes naturales escala 1:10000 para el sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba mediante la utilización de herramientas GIS (4), (5), (15).

l. Elaboración de un mapa de zonificación geotécnica escala 1:10000, incluyendo información de la disposición de las pendientes naturales y calidad de los macizos rocosos (clasificaciones geomecánicas); y elaboración de un mapa de zonificación de amenazas a movimientos gravitacionales en masa (FRM) escala 1:10000, para el sector de San Antonio de Minas y Guayllabamba mediante la utilización de herramientas GIS (4), (5), (15).

m. Consolidación de los datos, análisis de la información, discusión y presentación de resultados. Los resultados contribuirán a mejorar el conocimiento geológico-geotécnico del país y servirán de base para la ejecución de un apropiado uso del suelo y previsión de amenazas geológicas en las poblaciones de San Antonio de Minas y Guayllabamba; además la metodología utilizada en el presente estudio, debería de ser ampliada y replicada para el análisis de estabilidad y ordenamiento del territorio en la Región de la Sierra Norte del Ecuador.



Referencias Bibliográficas:

- (1) Barton, N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. Elsevier: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, volumen (39), 185–216.
- (2) Bieniawski, Z. T. (1978). Determining rock mass deformability: experience from case histories. Elsevier: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, volume (15), 237-247.
- (3) Chamber, R., Yarus, J. and Hird, K. (2000). Petroleum Geostatistics for Non Geostatisticians: Part 1. Geologic Column. 474-479.
- (4) Concha-Dimas, A., Reyes-Pérez N., Godínez-Vargas, J. A., & Jiménez-Velázquez, L. (2006). Rock mass quality and landslide hazard evaluation in the northern Mexico City urban zone. The 10th IAEG International Congress, Engineering geology for tomorrow's cities. (paper 189). Nottingham, United Kingdom: ICE Publishing.
- (5) González de Vallejo, L. I., & Ferrer, M. (2011). Geological Engineering. (primera edición). London, United Kingdom: CRC Press/Balkema.
- (6) Gringarten E. and Deutsch C.V. (1999). Methodology form Variogram Interpretation and Modeling for Improved Reservoir Characterization. SPE. Paper 56654.
- (7) Lee, E. M., & Jones, D. K. (2014). Landslide Risk Assessment. (second edition). London, United Kingdom: ICE Publishing.
- (8) Marinos, V., Marinos, P. & Hoek, E. (2005). The geological strength index: applications and limitations. Springer: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, volumen (64), 55–65. doi: 0.1007/s10064-004-0270-5.
- (9) Oliver, M. and Webster, R. (2015). Basic Steps in Geostatistics: The Variogram and Kriging. (Primera Edición). Reading, UK. Springer.
- (10) Ozturk CA, Nasuf E (2002) Geostatistical assessment of rock zones for tunneling. Tunn Undergr Space Technol 17(3):275–285.
- (11) Palmstrom, A. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Elsevier: Tunnelling and Underground Space Technology, volume (20), 362–377.
- (12) Priest, S. D. & Hudson, J. A. (1976). Discontinuity spacings in rock. Elsevier: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, volumen (13), 135-148.
- (13) Syrjanen, P. and Loven, P. (1999). Geostatistics and Block Modelling in rock mechanics. International Society for Rock Mechanics. 503-506.
- (14) Yarus, J. and Chambers, R. (2006). Practical Geostatistics-An Armchair Overview for Petroleum Reservoir Engineers. Journal of Petroleum Technology. 78-87.
- (15) Zenóbio, A. & Zuquette, L. (2006). Geotechnical mapping of rock masses in natural slopes using geomechanical classifications. The 10th IAEG International Congress, Engineering geology for tomorrow's cities. (paper 173). Nottingham, United Kingdom: ICE Publishing.
- (16) Zhang, L. (2016). Determination and applications of rock quality designation (RQD). Elsevier: Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, volumen (8), 389–397.



6 **Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.**

6.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.

El tiempo de dedicación máximo será de acuerdo al tipo de proyecto:

Proyecto	Director	Colaboradores
PII y PIS	16 HSS	8 HSS
PIJ y PIMI	20 HSS	10 HSS

Nombre	Rol (director o colaborador)	Horas de dedicación	Departamento
Eliana Jiménez	Directora	10	Geología
Diego Cárdenas Cárdenas	Colaborador	6	Geología
Gonzalo Cerón López	Colaborador	4	Petróleos

6.2 Infraestructura y equipos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipos	Ubicación del Equipo
Laboratorio de Láminas Delgadas	Equipo de Elaboración de Láminas Delgadas	Departamento de Geología Planta Baja.
Laboratorio de Microscopía	Microscopio Óptico	Departamento de Ingeniería Civil

- Disponibilidad de equipos elementales para la elaboración de secciones delgadas de roca disponibles en el Laboratorio de Láminas de Delgadas del Departamento de Geología.
- Disponibilidad de microscopios ópticos para el estudio de secciones delgadas de roca en el Laboratorio de Microscopía del Departamento de Ingeniería Civil.

6.3 Breve justificación del equipo requerido

- Los equipos de los laboratorios del Departamento Geología no disponen de un martillo de Schmidt o esclerómetro, que es esencial para la obtención de valores de resistencia de la matriz rocosa en el campo.
- No se tiene la disponibilidad o licencias de software aplicados a la geotecnia o geoestadística como: surfer o rocscience en el laboratorio de computación de la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos.

6.4 Fondos Adicionales

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)



7	Declaración del Director del Proyecto
Declaro que la presente propuesta es de mi autoría y de los colaboradores mencionados y que no ha sido presentada en ninguna convocatoria de esta institución pública o privada solicitando el financiamiento total del proyecto.	
	
DIRECTORA DEL PROYECTO	
Nombre: Ing. Eliana Jiménez A. Msc.	
CC: 1712075199	
Quito, 12 de Julio de 2016 (lugar y fecha)	

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO	
Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de <u>Geología</u>, en sesión del día <u>12 de Julio de 2016</u> mediante resolución No. <u>3.2</u> . Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.	
	
JEFE DEL DEPARTAMENTO	
Nombre: <u>Pedro Reyes Ph.D</u>	
CC: <u>1712542537</u>	
Quito, <u>12</u> de Julio de 2016 (lugar y fecha)	



