

MAPA DE MICRO-RIESGO A DESLIZAMIENTO POR EL MÉTODO DETERMINÍSTICO, DISTRITO 15 SAN ANTONIO BAJO (MACRODISTRITO 4 SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE LA PAZ)

MAP OF MICRO RISK TO SLIDING BY THE DETERMINISTIC METHOD DISTRITO 15 SAN ANTONIO BAJO
(MACRODISTRITO 4 SAN ANTONIO, MUNICIPIO DE LA PAZ – BOLIVIA)

Waldo A. Aliaga Aranda *
Madeleine R. Banús Urbina **

RESUMEN

En el presente artículo, se presenta una descripción del método determinístico como referencia efectiva en la elaboración de la cartografía del caso de aplicación (área de 0,08 km² ubicada en el distrito 15 San Antonio bajo, municipio de La Paz) y su importancia para evaluar el micro-riesgo a deslizamiento del lugar. Inicialmente se determinó la amenaza por medio de parámetros geotécnicos tales como: posición nivel freático, ensayos SPT, CPT y geofísica, entre otros. Complementando la investigación con la asistencia de los programas SSR y PHASE2. Siguiendo con el análisis de vulnerabilidad social y física.

La respuesta cartográfica ha mostrado que aun es inestable el lugar donde anteriormente se presentaron deslizamientos (centro del mapa). También existe riesgo a deslizamiento de alto a medio en las áreas laterales. Confirmado visualmente por fisuras en la plataforma vial.

PALABRAS CLAVE: Deslizamientos, amenaza, vulnerabilidad, factor de seguridad de talud, riesgo, prevención de desastres, mapas temáticos.

ABSTRACT

In the present article, a description of the deterministic method is presented as an effective reference in the elaboration of the cartography of the application case (area of 0,08 km² located in distrito 15 San Antonio bajo municipio La Paz) and its importance to evaluate the risk of landslides. Initially the threat was determined using geotechnical parameters such as: groundwater level position, SPT, CPT and geophysical tests, among others.

Complementing the research with the assistance of SSR and PHASE2 programs. Continuing with the analysis of social and physical vulnerability.

The cartographic response showed that the past place of the landslides (center of the map) is still unstable. It also presents risk from high to medium in the lateral areas. Visually confirmed by cracks in the road platform.

KEYWORDS: Landslides, threats, vulnerability, slope safety factor, risk, disaster prevention, thematic maps.

RESUMO

No presente artigo, apresenta-se uma descrição do método determinístico como referência efetiva na elaboração da cartografia do caso de aplicação (área de 0,08 km² localizada no distrito 15 San Antonio bajo, municipio La Paz) e sua importância para avaliar o risco de deslizamento de terra. Inicialmente a ameaça foi determinada por meio de parâmetros geotécnicos, tais como: posição do nível de água subterrânea, SPT, CPT e testes geofísicos, entre outros. Complementando a pesquisa com a assistência dos programas SSR e PHASE2. Continuando com a análise da vulnerabilidade social e física.

A resposta cartográfica mostrou que o local passado dos deslizamentos de terra (centro do mapa) ainda é instável. Também apresenta risco de alto a médio nas áreas laterais. Visualmente confirmado por rachaduras na plataforma da estrada.

PALAVRAS-CHAVE: Deslizamentos de terra, ameaças, vulnerabilidade, fator de segurança de taludes, risco, prevenção de desastres, mapas temáticos.

History of the article: Received 14/03/2019. Style review 16/03/2019. Accepted 19/04/2019.

INTRODUCCIÓN

El macro distrito 4 San Antonio¹ pertenece al municipio de La Paz y está dividido en cuatro distritos (14, 15, 16 y 17) donde destacan: Villa Copacabana, Villa San Antonio alto y bajo, Villa Armonía, Kupini, Callapa, Pampahasi y San Isidro, como las zonas más representativas.

El sector de San Antonio bajo fue uno de los lugares del macro distrito 4 que el año 2003, sufrió deslizamientos de consideración, la fotografía 1, muestra el movimiento de tierra provocado en ese entonces.

Sin embargo, al igual que en otras zonas (debido al crecimiento poblacional y al desarrollo urbano), hay un incremento en asentamientos ilegales y construcciones de grandes infraestructuras en sus laderas, ver fotografía 2.



Crédito: W. Aranda A, 2004

Fotografía 1



Crédito: W. Aranda A, 2017

Fotografía 2

Estos hechos alteran la geomorfología y combinados con las precipitaciones pluviales, incrementan la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento con resultados fatales.

Como medida de prevención ante eventos naturales, la ciudad de La Paz tiene un mapa de riesgos elaborado el año 2011 por el GAMLP, donde se identifican las zonas con diferentes niveles de riesgo. No obstante, debido a la escala y el método utilizado en su elaboración, no toma en cuenta principalmente los parámetros geotécnicos del suelo de la zona. Además de ello, el mapa debería ser actualizado por el constante crecimiento urbano.

Frente a esta situación, el objetivo de la investigación se orientó al desarrollo de un proceso que reúna los métodos heurístico, probabilístico y determinístico en la elaboración de mapas de riesgo, fijando como caso de aplicación, la zona de San Antonio bajo.

Considerando para el presente artículo, la descripción del método determinístico como una referencia efectiva en la elaboración de la cartografía del caso de aplicación y su extensión hacia otros casos.

DESARROLLO

Área de estudio

El área de estudio abarca una extensión de 0,08 km², ver figura 1 y se encuentra limitada por las coordenadas UTM siguientes:

¹ Límites: norte macro distrito Periférica, sur macro distrito Sur, oeste macro distrito Centro, este macro distrito de Hampaturi. Densidad poblacional: 11016 habitantes / km². Superficie 12,2 km². <http://www.sitservicios.lapaz.bo>cartillas>san-antonio>



Fuente: Elaboración propia con asistencia de Google Earth, 2017

Figura 1: Vista superior del área de estudio

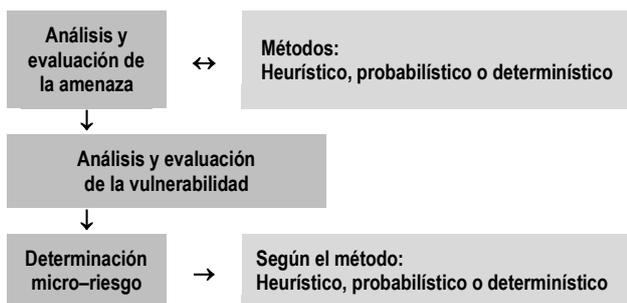
El distrito tiene importancia por su población, por sus vías de comunicación existentes y por la presencia de algunas edificaciones administradas por el GMLP, caracterizadas por la afluencia de público.

Acopio de información

El estudio de riesgos por deslizamiento en una ladera o talud, debe conseguir toda la información posible del lugar en cuestión, requisito principal para tener un diagnóstico de problemas existentes con la mayor seguridad posible. Por lo tanto las fuentes de consulta más utilizadas son:

1. Mapas: topográfico, geomorfológico, geológico, hidrológico y de usos del suelo.
2. Imágenes satelitales antiguas y recientes, para comparar los cambiando que ha tenido el lugar.
3. Historial de deslizamientos ocurridos en la zona.
4. Resultados de ensayos de laboratorio.
5. Densidad poblacional y características de las edificaciones levantadas en la zona.

Reunida la información pertinente, ésta sirve para analizar amenazas y vulnerabilidades del lugar, seleccionando uno o los tres métodos mostrados en la figura 2, y de acuerdo con los resultados obtenidos, evaluar el lugar de estudio, con relación a los riesgos de deslizamientos por medio de la respuesta cartográfica discriminante.

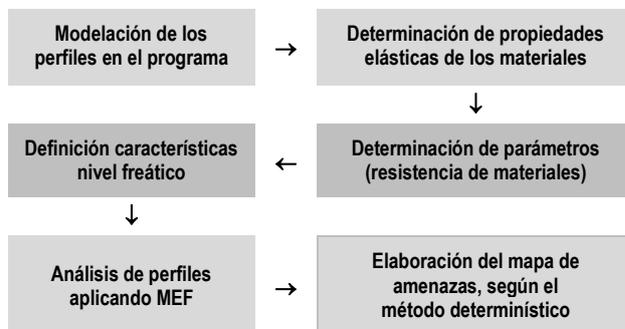


Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Algoritmo de análisis

Método determinístico

a) Análisis de amenazas: Examina el lugar de estudio, recogiendo muestras inalteradas, que aportan respuestas sobre parámetros geotécnicos tales como: posición nivel freático, ensayos SPT², CPT³ y geofísica, para determinar la estratificación del lugar. El algoritmo que sirve de guía aplicativa del método determinístico, se representa en la figura 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Algoritmo método determinístico

Para la evaluación del talud se utilizó el programa o SSR Shear Strength Reduction (Reducción de Resistencia al Corte), que aplicando una ley del comportamiento elasto-plástico y el método de Elementos Finitos (MEF), calcula la estabilidad, y además, fija la dirección y magnitud de las deformaciones inducidas por esfuerzos de corte que están solicitando a la masa del talud.

- Los parámetros de resistencia: cohesión c' y ángulo de fricción ϕ , se dividen entre un factor.
- Repetición para diferentes valores de los factores desde la unidad, hasta que los resultados del análisis no convergen y el modelo se vuelve inestable. Esto determina el valor resistente más crítico (SRF⁴ crítico) que viene a ser el factor de seguridad del talud.

Conseguidos los factores de seguridad de cada perfil, se delimitan las áreas amenaza: muy alta, alta, media, baja, muy baja. Bajo el siguiente criterio:

- = 1 Equilibrio.
- < 1 Seguridad cuestionable.
- 1 a 1,25 Inestable.
- 1,25 a 1,40 Seguridad relativa.
- 1,50 Satisfactorio para taludes

b) Análisis y evaluación de vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad, considera dos etapas:

- 1) Identificación de elementos expuestos, agrupando redes viales o edificaciones con el mismo grado de vulnerabilidad ante un deslizamiento, (valoración vulnerabilidad social).
- 2) Relación con las personas que se encuentran en un vehículo, un área vial o edificación. (Valoración de la vulnerabilidad social). Relación con edificaciones, observando estado, su conservación, tipo y número de pisos, (valoración de la vulnerabilidad física).

² Standard Penetration Test, mide la resistencia a la penetración del terreno según sus características geológicas...

³ Cone Penetration Test, prueba de penetración en cono, determina las propiedades geotécnicas de los suelos.

⁴ Stress Reduction Factor, Índice de reducción de esfuerzos.

La evaluación y cuantificación del grado de vulnerabilidad se realiza tomando el rango de valores de 0 a 1, fijando: 0 para una zona de vulnerabilidad muy baja y 1 para zonas de vulnerabilidad muy alta. Sumadas las vulnerabilidades física y social para cada área, se delimitaron cinco zonas de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Elaboración de cartografías

Definidos los parámetros geotécnicos en cada perfil de los 24 examinados para los ocho materiales reconocidos en el lugar. En la tabla 1, se presenta con la mayor precisión posible que exige el método, parámetros del perfil 1.

Tabla 1
Parámetros geotécnicos perfil 1

Material	Parámetros	Sigla	Unidades
Qtb Torrente de barro	Peso unitario	21,00	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	30	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	21	ϕ' (°)
Qgm Gravas Miraflores	Peso unitario	22,80	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	10	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	30	ϕ' (°)
Tip Formación La Paz	Peso unitario	21,20	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	48	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	21	ϕ' (°)
Qd Desliz. inactivo	Peso unitario	20,10	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	28	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	23	ϕ' (°)
Qr Dep.de relleno (1)	Peso unitario	20,00	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	15	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	28	ϕ' (°)
Qrr Dep.de relleno (2)	Peso unitario	20,10	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	18	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	26	ϕ' (°)
Qrrc Dep. relleno reciente	Peso unitario	20,20	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	9	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	26	ϕ' (°)
Qa Llanura aluvial	Peso unitario	20,90	γ (KN.m ⁻³)
	Cohesión	8	c' (KN.m ⁻²)
	Ángulo de fricción	32	ϕ' (°)

Fuente: Elaboración propia

Para efectuar el análisis MEF, obtenidos los parámetros geotécnicos, también se fijaron las propiedades elásticas de materiales: módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (μ). El conjunto de datos sirvió para el análisis de estabilidad MEF, a través del programa PHASE2⁵ que modeló mallas triangulares de seis nudos, con alrededor 1800 elementos. La tabla 2, muestra de forma descriptiva la escala de SRF y en la tabla 3 se presentan los factores de seguridad SRF calculados para los 24 perfiles usados en la elaboración de las cartografías correspondientes.

Tabla 2
Clasificación de los SRF propuestos

F.S. o SRF	Grado de amenaza	Gama discriminante
> 1,5	Muy baja	A
1,4 - 1,5	Baja	B
1,25 - 1,4	Media	C
1,1 - 1,25	Alta	D
< 1,1	Muy alta	E

Fuente: Elaboración propia

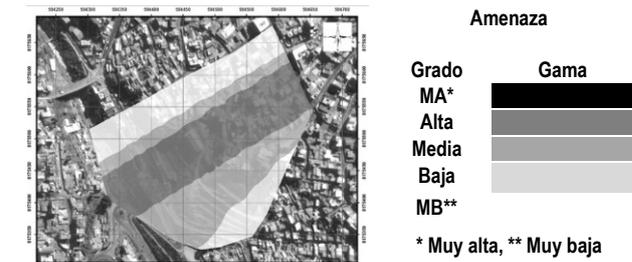
⁵ Programa 2D para el análisis de esfuerzos elastoplásticos con elementos finitos, muy útil para proyectos de ingeniería dirigidos a la estabilidad de taludes. <https://www.roccsciencephase2.com>

Tabla 3
SRF críticos, 24 perfiles

Perfil	SRF	Perfil	SRF	Perfil	SRF
1	1,32	9	1,32	17	2,00
2	1,28	10	1,31	18	1,30
3	1,27	11	1,34	19	1,31
4	1,31	12	1,43	20	1,50
5	1,33	13	1,45	21	1,50
6	1,31	14	1,43	22	1,41
7	1,36	15	1,51	23	1,42
8	1,39	16	1,70	24	1,53

Fuente: Elaboración propia

Mapa de amenaza: Ver figura 4

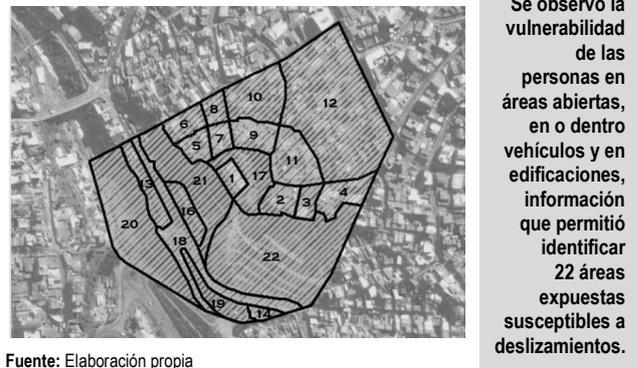


Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Mapa de amenaza, método determinístico

Análisis y evaluación de vulnerabilidad

a) Vulnerabilidad social: Ver figura 5.

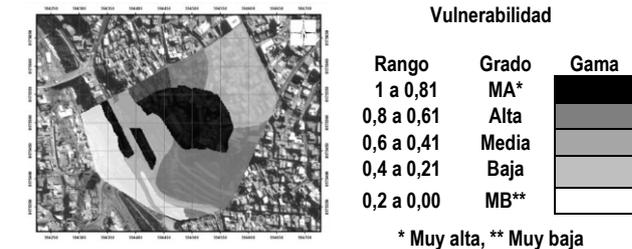


Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Vulnerabilidad social

b) Vulnerabilidad física: se consideró la fragilidad de las estructuras: (altura, tipo, conservación de las mismas). Sumadas las vulnerabilidades física y social para cada área. Se delimitan cinco nuevas zonas de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja y muy baja. Ver figura 6.

Mapa de vulnerabilidad: Ver figura 6

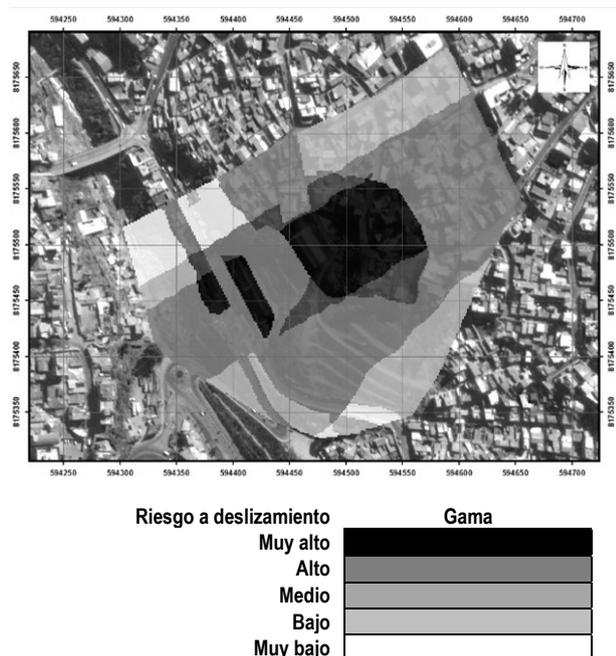


Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Mapa de vulnerabilidad, método determinístico

Mapa determinístico de micro-riesgo a deslizamiento

Es el resultado de relacionar la información existente en los mapas de amenaza y vulnerabilidad. En la figura 7, se muestra el mapa de micro-riesgo a deslizamiento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Mapa de micro-riesgo a deslizamiento San Antonio bajo, método determinístico

En el centro del mapa se observa una zona de muy alto riesgo, coincidente con los deslizamientos pasados, esto demuestra que continúa la posibilidad de deslizamiento. En las áreas laterales se tiene un riesgo de alta a media, confirmado por la observación de fisuras en la plataforma vial.

CONCLUSIONES

El método determinístico aplicado en San Antonio bajo, posibilita llegar a lo siguiente:

- Es evidente el cambio geomorfológico del terreno debido a los asentamientos urbanos, procesos de erosión y deslizamientos que ocurrieron.
- Los parámetros geotécnicos: cohesión y ángulo de fricción en los ocho estratos que conforman el talud, a través del análisis de sensibilidad señaló, que los estratos que mayor influencia tienen para su estabilidad son: el torrente de barro (Qtb), las gravas Miraflores (Qgm) y el deslizamiento inactivo (Qd).
- El incremento en los esfuerzos de corte, más los desplazamientos horizontales y verticales en la parte superior del talud debido a las cargas de las viviendas, hacen notar la actividad antrópica que tiene la zona estudiada.
- El análisis de vulnerabilidad, permitió identificar edificaciones bastante frágiles; este es un reflejo del efecto antrópico, de la irresponsabilidad e inconsciencia de los vecinos.

Es necesario crear un reglamento para la elaboración de mapas de micro-riesgo en nuestro país, donde se estipule la aplicación de un determinado método, que contribuya a una gestión más eficiente del riesgo.

La elaboración de mapas de micro-riesgo resulta mucho menos costosa que la reconstrucción y rehabilitación de zonas afectadas (entre 10 a 15 veces menos), lo cual a largo plazo significa una buena inversión del presupuesto que tienen a disposición las instituciones públicas.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Recopilar la mayor cantidad de información operable del sector en estudio, procurando, que los mapas se presenten máximo en una escala 1:20000.
- Planificar visitas periódicas al sector de estudio, para la recolección de muestras, pruebas de laboratorio y control de aguas subterráneas.
- Para aplicar el método determinístico, se recomienda contar con los datos de los parámetros geotécnicos, geometría del talud y nivel freático lo más certeros posible.
- Implementar en el método determinístico la acción cargas dinámicas (sismos) para analizar cuánto disminuirían los factores de seguridad.

Para el área estudiada, San Antonio bajo, se recomienda:

- La construcción de infraestructuras que contribuyan en aumentar los factores de seguridad SRF del talud, iniciando por el escarpe del deslizamiento antiguo.
- Reforzar edificaciones más expuestas y vulnerables.
- No construir, o construir con bastante precaución, en los sectores identificados como zonas de muy alto riesgo.
- Implementar geosintéticos, como la geomanta de fibra de coco, en los taludes colindantes a la cancha del frontón donde se evidenciaron surcos de erosión.

BIBLIOGRAFÍA

Aliaga, W., Choque, J., 2003, Una metodología para determinar amenazas a desastres por deslizamientos de suelos, La Paz – Bolivia,

Suárez, J., 2002, Análisis de estabilidad, Ingeniería de Suelos Ltda., Bogotá – Colombia,

Mora, S., Vahrson, W., 1991, Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos, 1ª Ed. México D.F., México: Inalzate J.B.,

Mora, S., 2004, La gestión del riesgo, una herramienta para el desarrollo. En: Programa para la gestión del riesgo y prevención de desastres en Bolivia, La Paz – Bolivia.

Fe de autores:

(*), Ingeniero Civil, MSc. Consultor en Geotecnia. Docente UMSA. waldoaliaga2009@yahoo.es

(**), Ingeniero Civil, Universidad Privada del Valle UPB.