

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Ubicación y vías de acceso	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Metodología	4
1.4.1	Trabajo de gabinete.....	4
1.4.2	Trabajo de terreno	5
2	Marco conceptual	5
2.1	Introducción.....	5
2.2	Remociones en masa.....	5
2.2.1	Definición.....	5
2.2.2	Clasificación de remociones en masa	5
2.3	Factores condicionantes	10
2.3.1	Geología y geotecnia.....	11
2.3.2	Geomorfología	11
2.3.3	Hidrología e Hidrogeología	12
2.3.4	Vegetación.....	12
2.3.5	Clima	13
2.3.6	Actividad antrópica	13
2.4	Factores gatillantes de remociones en masa	14
2.4.1	Precipitaciones	14
2.4.2	Sismos.....	15
3	Metodología para la evaluación de peligro de remociones en masa	15
3.1	Introducción.....	15
3.2	Esquema general	16
3.2.1	Estudios preliminares de gabinete (G1).....	16
3.2.2	Estudios en terreno, fase I (T1)	17
3.2.3	Trabajo de gabinete (G2).....	18
3.2.4	Evaluación de probabilidad de falla (Trabajo de Gabinete G3)	21
3.2.5	Evaluación del alcance de la remoción en masa (Trabajo de Gabinete G4)	24

3.2.6	Evaluación del Peligro Geológico (Trabajo de Gabinete G6)	26
4	Antecedentes del área de estudio	27
4.1	Introducción	27
4.2	Marco Geomorfológico y Geológico Regional	27
4.2.1	Marco Geomorfológico	27
4.2.2	Marco Geológico	29
4.3	Descripción local del área de estudio	33
4.3.1	Geomorfología	33
4.3.2	Geología	37
4.3.3	Estructuras	47
4.3.4	Vegetación	49
4.3.5	Clima	50
4.3.6	Sismicidad	51
4.3.7	Intervención Antrópica	55
5	Evaluación del peligro de remociones en masa	57
5.1	Introducción	57
5.2	Definición de unidades geomorfológicas	57
5.3	Cálculo de Índices de Susceptibilidad de remociones en masa	58
5.3.1	Deslizamiento de Suelo	62
5.3.2	Flujos de detritos	63
5.3.3	Caídas de rocas	64
5.3.4	Deslizamiento de rocas	66
5.4	Evaluación probabilidad de falla	67
5.4.1	Deslizamientos traslacionales de suelo (superficiales)	67
5.4.2	Deslizamiento de rocas	68
5.4.3	Caídas de rocas	71
5.4.4	Flujos de detritos	71
5.5	Evaluación del alcance de las remociones en masa	72
5.5.1	Deslizamientos de suelo traslacional (superficial)	72
5.5.2	Deslizamiento de rocas rotacionales profundos	72
5.5.3	Caídas de rocas	72
5.5.4	Flujos de detritos	73
5.6	Evaluación del peligro de remociones en masa	75
6	Discusiones	81

6.1	Consideraciones para este estudio	81
6.2	Respecto a la metodología.....	82
6.3	Respecto a las áreas del peligro	83
7	Conclusiones	86
8	Bibliografía.....	88
ANEXOS		92
1	Tablas de cálculo de índice de susceptibilidad.....	92
2	Evaluación probabilidad de falla (PF).....	100
2.1	Probabilidad de falla para deslizamiento de rocas.....	100
2.2	Probabilidad de falla deslizamiento en bloque.....	110
2.3	Probabilidad de falla deslizamiento de suelos superficiales y flujos de detritos	112
3	Evaluación de alcance caída de rocas.....	113
4	Mapas peligro de remociones en masa.....	147

Índice de Tablas

Tabla 2.1.	Clasificación de remociones en masa (Varnes, 1978).....	6
Tabla 2.2.	Escala de velocidad de remociones en masa (Cruden & Varnes, 1996)	6
Tabla 2.3.	Factores condicionantes relevantes para cada tipo de remoción en masa (Hauser, 1993).....	11
Tabla 3.1.	Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en suelo (Lara, 2007)	19
Tabla 3.2.	Ponderación máxima de factores condicionantes de deslizamientos en roca (Lara, 2007)	20
Tabla 3.3.	Ponderación máxima de factores condicionantes de caídas de rocas (Lara, 2007)	20
Tabla 3.4.	Ponderación máxima de factores condicionantes de flujos (Lara, 2007)	21
Tabla 3.5.	Relación entre probabilidad numérica y cualitativa para la evaluación del peligro geológico (Lara, 2007)	22
Tabla 3.6.	Relación entre probabilidad de generación de caídas y pendientes (Lara, 2007)	24
Tabla 3.7.	Relación entre probabilidad de alcance de deslizamiento y pendientes (Lara, 2007)	25
Tabla 3.8.	Relación entre probabilidad de alcance de caídas de rocas y pendientes (Lara, 2007)	26
Tabla 3.9.	Relación entre probabilidad de alcance de flujos y pendientes (Lara, 2007) ...	26
Tabla 3.10.	Matriz de combinación para definir el Grado de Peligro Global (Lara, 2007) .	27
Tabla 4.1.	Sets de discontinuidades en el área de estudio en la Formación Abanico	48
Tabla 4.2.	Sets de discontinuidades en el área de estudio en Intrusivo diorítico	48
Tabla 5.1.	Ponderación de factores condicionantes para caídas de rocas, modificado de Lara (2007), en rojo valor intermedio agregado para el factor de caídas de rocas declaradas.....	58

Tabla 5.2. Ponderación de factores condicionantes para deslizamiento de rocas, modificado de Lara (2007).	59
Tabla 5.3. Ponderación de factores condicionantes para flujos, modificado de Lara (2007).	60
Tabla 5.4. Ponderación de factores condicionantes para deslizamiento de suelo, modificado de Lara (2007).	61
Tabla 5.5. Unidades con $IS \geq 50$. Caso deslizamiento de suelo	63
Tabla 5.6. Unidades con $IS \geq 50$. Caso flujos de detritos	64
Tabla 5.7. Unidades con $IS \geq 50$. Caso caídas de rocas	65
Tabla 5.8. Unidades con $IS \geq 50$. Caso deslizamiento de rocas	66
Tabla 5.9. Parámetros geotécnicos para suelos superficiales y su desviación estándar	67
Tabla 5.10. Probabilidad de Falla y Factor de Seguridad para deslizamientos superficiales.	68
Tabla 5.11. Propiedades de roca para análisis de deslizamientos masivos	69
Tabla 5.12. Probabilidad de Falla y Factor de Seguridad para deslizamientos de roca rotacionales profundos. Bajo los diferentes escenarios	70
Tabla 5.13 Probabilidad de Falla y Factor de Seguridad para deslizamientos en bloque de roca. Bajo los diferentes escenarios	71
Tabla 5.14. Parámetros geotécnicos para flujos de detritos y su desviación estándar	71
Tabla 5.15. Probabilidad de Falla y Factor de Seguridad para flujos de detritos. Bajo los diferentes escenarios.	72
Tabla 5.16. Pendientes críticas de alcance para deslizamiento de suelo traslacionales. En los diferentes escenarios.	72
Tabla 5.17 Relación entre probabilidad numérica y cualitativa para evaluación de peligro gelogico	74

Índice de Figuras

Figura 1.1 Área de estudio y sus alrededores, en negro zona de estudio y en rojo vías de acceso. Imagen satelital modificada de Google Earth en ArcGis 10	3
Figura 2.1 Esquema de caídas de roca	7
Figura 2.2 Esquema deslizamiento de suelo, modificado de Int. Geotech. Soc. UNESCO, 1993 en Dikau et al., 1996 por Gonzales de Vallejos (2002)	7
Figura 2.3 Esquema de deslizamiento rotacional y sus partes; modificado de Varnes (1998) por Gonzales de Vallejos (2002)	8
Figura 2.4 Clasificación usada por el British Geology Service, modificada de Cruden & Varnes (1996)	9
Figura 3.1. A la derecha esquema de la metodología de Lara (2007); a la izquierda, estudios preliminares para la evaluación de peligros de remociones en masa (Lara, 2007).	17
Figura 4.1. Segmentación morfoestructural Andina entre 32° y 35° , basado en Charrier y Muñoz (1994); Tasara y Yañes (2003) y Giambiagi et al. (2008). En rojo área de estudio.	29
Figura 4.2. Mapa Geológico Regional (Fock, 2005)	33
Figura 4.3. Modelo digital, zona de estudio demarcada en rojo, se muestran principales quebradas y altos topográficos. Sistema de coordenadas UTM WGS-84 (zona 19S)	34
Figura 4.4. Distribución de pendientes de laderas en área de estudio. Elaboración propia, ArcGis 10.	35

Figura 4.5. Distribución de aspecto (orientación de laderas). Elaboración propia, ArcGis 10.	36
Figura 4.6. Cauce principal de la hoya hidrográfica de la Quebrada de Apoquindo.	37
Figura 4.7. Afloramiento de la Formación Abanico.....	38
Figura 4.8. A la izquierda se observa caída de roca; a la derecha, macizo rocoso descrito, ambos corresponden a la Formación Abanico.	39
Figura 4.9. Macizo descrito, perteneciente al intrusivo diorítico.....	40
Figura 4.10. A la izquierda se observa caída de rocas en ladera; a la derecha, bloque de roca en quebrada principal, ambos corresponden al intrusivo diorítico.	40
Figura 4.11. Depósito aluvial-fluvial, a la derecha se aprecian bloques mayores.	41
Figura 4.12. Depósito de abanico aluvial.	42
Figura 4.13. Depósito coluvial, en zona de alta pendiente.	42
Figura 4.14. Escombros de falda. A la izquierda bloques de 0,5-1 m de diámetro, a la derecha matriz limo-arenosa.....	43
Figura 4.15. A la izquierda se observan caídas de rocas en ladera; a la derecha, deslizamiento de suelo superficial.....	44
Figura 4.16. Quebrada con aporte de material detrítico	44
Figura 4.17. Depósito de flujo de detritos.....	45
Figura 5.1. Unidades geomorfológicas. Elaboración propia, ArcGis 10.	57
Figura 5.2. Mapa de susceptibilidad de deslizamiento de suelos, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000.	62
Figura 5.3. Mapa de susceptibilidad de Flujos, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000.....	63
Figura 5.4. Mapa de susceptibilidad de caídas de rocas, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20.000.	64
Figura 5.5. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de rocas, metodología Lara (2007), aplicada a escala 1:20000.	66
Figura 5.6. Ejemplo de unidad geomorfológica 80 en SLIDE.	69
Figura 5.7. Ejemplo deslizamiento en cuña en SWEDGE.	70
Figura 5.8. Ejemplo alcance (en rojo) caída de roca en Rocfall. Unidad geomorfológica 62.	73
Figura 5.9. Vista al este. Zonificación de peligros de flujos de detritos (Antinao et al., 2003). En verde área de estudio.....	74
Figura 6.1. Relación IS y Peligro para deslizamiento de suelos superficiales. Caso estático con tormentas.	84
Figura 6.2. Relación IS vs Peligro para deslizamiento de rocas profundos. Caso sísmico con tormentas.	85
Figura 6.3. Relación IS vs Peligro. Flujos de detritos. Caso sísmico con tormentas.....	86