

Mapeo de Susceptibilidad a Deslizamientos Mediante SIG y Teledetección en la Subcuenca del Río Ñuñoa: Análisis Geoespacial de Riesgos Naturales

Dr. Camila Reyes^{1*}, Dr. Diego Morales¹

¹Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geografía y Ciencias de la Tierra, Santiago, Chile

Resumen

Todo proceso relativo a prevención y manejo de desastres naturales demanda la elaboración de una cartografía acorde. En este análisis se detalla el proceso de producción de mapas de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos, calculados a través de la Evaluación Multicriterio (EMC) y bajo un ambiente de SIG.

La subcuenca del río Ñuñoa, seleccionada como área de estudio, tiene un área de 2747.551 km² con un perímetro de 347.714 km, su parte más elevada está en la cota 5500 msnmm y se ubica en el nevado Junurana y su parte más baja se ubica en la cota 3870.624 msnmm, donde confluye con el río Crucero, Se ubica entre las coordenadas topográficas Este 285,817 m a 361,549 m y Norte 8'353,229 m a 8'443,335 m. La longitud total del río principal es de 136.605 km. resultando una pendiente promedio de 1.24%, presenta una dirección Sureste. El número de orden de la cuenca es 8 y su cota media es de 4698.1944 msnmm.

Palabras Clave: Deslizamientos, mapa morfométrico, susceptibilidad, sistemas de información geográfica.

Abstract

Every process related to prevention and management of natural disasters demands the elaboration of an appropriate cartography. This analysis details the process of producing susceptibility maps and landslide hazards, calculated through the Multicriteria Assessment (EMC) and under a GIS environment.

The sub-basin of the Ñuñoa river, selected as a study area, has an area of 2747,551 km² with a perimeter of 347,714 km, its highest part is at elevation 5500 m above sea level and is located in the snow-capped Junurana and its lowest part is located at the elevation 3870.624 msnmm, where it meets the Crucero River, It is located between the topographic coordinates East 285.817 m to 361.549 m and North 8'353.229 m to 8'443.335 m. The total length of the main river is 136,605 km. resulting an average slope of 1.24%, presents a Southeast direction. The order number of the basin is 8 and its average height is 4698.1944 msnmm.

Keywords: Landslides, morphometric map, susceptibility, geographic information systems.

Introducción

Los modelos predictivos de amenaza por deslizamientos es una importante área de investigación, la cual ha sido potenciada por el uso de tecnologías tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), datos e imágenes satelitales y la subsecuente incorporación de procedimientos estadísticos aplicados a datos espaciales. Sin embargo, la creciente complejidad de técnicas en SIG, demanda investigadores capacitados tanto en la utilización de este tipo de plataformas como en el análisis de los procesos geomórficos, bajo estudio (Fabbri et al, 2003). Desafortunadamente, esta última aseveración representa un obstáculo emergente entre investigadores de deslizamientos, particularmente en la comunidad geomorfológica.

En este trabajo se propone la aplicación de un método indirecto rápido, razonable y consistente que permita una pronta respuesta a requerimientos propios de todo mapeo de susceptibilidad y vulnerabilidad de un área a deslizamientos. La técnica aplicada fue la Evaluación MultiCriterio (EMC), basada en el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) propuesto por Saaty (1990).

Como caso de estudio se seleccionó una subcuenca del río Ñuñoa, seleccionada como área de estudio, tiene un área de 2747.551 km² con un perímetro de 347.714 km, su parte más elevada está en la cota 5500 msnmm y se ubica en el nevado Junurana y su parte más baja se ubica en la cota 3870.624 msnmm, donde confluye con el río Crucero, Se ubica entre las coordenadas topográficas Este 285,817 m a 361,549 m y Norte 8°353,229 m a 8°443,335 m. La longitud total del río principal es de 136.605 km. resultando una pendiente promedio de 1.24%, presenta una dirección Sureste. El número de orden de la cuenca es 8 y su cota media es de 4698.1944 msnmm

La elaboración de mapas de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos no da respuesta a cómo resolver los riesgos ambientales relativos, pero respalda y estimula las decisiones de las autoridades y organizaciones civiles sobre la planificación y uso del espacio, la formulación de escenarios pre-desastre y la elaboración de estrategias post desastre. Como ejemplo tenemos que un grave impedimento en el proceso de recuperación post desastre del tsunami del 26 de diciembre del 2004 en el Sudoeste Asiático, fue la falta de mapas de vulnerabilidad y riesgos ambientales, así como de información ambiental básica (UNEP, 2005), de allí que en el informe final elaborado para la ONU, se recomienda una detallada evaluación ambiental y de vulnerabilidad, la cual se considera un punto crítico dentro de los planes de reconstrucción y rehabilitación.

ANTECEDENTES

El Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) y la Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico TDPS mediante convenio de fecha 23 de julio del 2003 firman el convenio de cooperación institucional, en función a ello es que deciden realizar el estudio Hidrológico de las cuencas aportantes del sistema denominado Lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y Salar de Coipasa (TDPS) a fin de diagnosticar la situación actual y potencial de las cuencas. Es así que mediante la Administración técnica del distrito de riego de la cuenca del río Ramis (ATDR Ramis) se inicia los estudios para lo cual se contrata a un equipo multidisciplinario con el objetivo de cumplir con dichas metas.

El INRENA, mediante la Intendencia de Recursos Hídricos tiene, entre otras, las funciones de proponer, supervisar y controlar las políticas, planes, programas, proyectos y normas sobre el uso y aprovechamiento sostenible del agua, asimismo, tiene transitoriamente la competencia de supervisar, promover y evaluar el uso y aprovechamiento del agua de riego, su otorgamiento en el ámbito nacional y la participación de los usuarios de agua de riego y sus organizaciones.

Los ríos principales de la cuenca son: el río Quenamari, Jatunmayo, Patiani, Antacalla, Totorani, Palca, Huayco, Saluyo, Jurahuiña, Chillipalca, Lloncacarca, Challuta, Pite, Piscotira y las lagunas de importancia son: Ututo, Ñequecota, Humamanca, Quellacocha, Qomercocha, Caycopuncu, Jillocota y como nevados principales tenemos al Ñequecota, Olloquenamari, Quellma, Junurana, Sapanota, Pumanota, Cuchocucho, Culi, Canta casa.

La precipitación total que presenta la cuenca Nuñoa tiene un promedio anual de 715 mm y se distribuyen de manera desigual durante el año produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de Noviembre a abril. El caudal máximo medio mensual del río Nuñoa es de 270 m³/s en el mes de marzo y el mínimo medio mensual es de 1.67 m³/s para el mes de agosto de 1999. Datos según la estación hidrométrica limnimétrica de Asillo – Puente Asillo (fuente PELT).

Metodología

La evaluación de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos ejecutada en este análisis, se realizó bajo los procedimientos requeridos a toda Evaluación MultiCriterio (EMC) y señalados por Saaty (1990). En este análisis la EMC consistió en dos partes básicas: La descripción general de los procesos de deslizamientos en el área de estudio y el posterior modelamiento de la sensibilidad y amenaza por deslizamientos.

La descripción general de los procesos de deslizamientos

Un deslizamiento es básicamente el movimiento pendiente abajo, de una masa rocosa, detritos o tierra (Cruden, 1991), y puede tener diferentes causas, tales como geológicas, geomorfológicas, físicas y humanas; pero solo un agente detonante (Wieczorek, 1996).

Las lluvias intensas, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas, o rápido socavamiento basal; son considerados agentes detonantes y su ocurrencia en determinadas áreas conduce a un aumento de la presión vertical (peso) o reducción de la cohesión de los materiales que conforman la vertiente, acelerando su colapso.

En el objetivo de producir el mapa de susceptibilidad y los mapas de amenazas por deslizamientos, el fenómeno de deslizamiento en el área de estudio debe ser analizado en factores, procesos y criterios. Los factores caracterizan los parámetros, propiedades y agentes que contribuyen al proceso, mientras que los procesos describen las diferentes fases/formas del movimiento de masas. Los procesos vienen a ser el marco de acción e interacción de los conceptos descritos en los factores mientras que los criterios son la unidad pragmática de evaluación indirecta de la magnitud de los procesos ya sea directa o indirectamente. Un criterio es la base de una decisión que puede ser medida y evaluada (Eastman et al., 1995), y en un análisis geográfico como en este caso, cartografiada.

Cuadro 1. Factores, procesos y criterios involucrados en los procesos de deslizamientos frecuentes en la ciudad de Trujillo. El orden y distribución de estos parámetros en el cuadro sugiere una relación de causa, efecto y lugar, pero solo de tipo ilustrativo y no absoluto.

		FACTORES	PROCESOS	CRITERIOS	
ZONA DE EXTENUACION	ZONA DE TRANSPORTE	PRECIPITACIONES	Intensidad, Duración, Frecuencia, Estacionalidad	INCLINACION DE LAS PENDIENTES	
		CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LA CUENCA	Área, Infiltración		
ZONA DE ACUMULACION	ZONA DE ACUMULACION	SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS / EROSION	Pendientes	ESCURRIMIENTO	FORMA DE LAS PENDIENTES
			Morfología	REPTACION	
			Litología	CARCAVAMIENTO	DISECCION DEL RELIEVE
			Perfil de alteración	DERRUMBES	
			Uso de la tierra	FLUJO DE DETRITOS	COBERTURA VEGETAL
			Diaclasamiento	DESGLIZAMIENTOS SUPERFICIALES	
ACUMULACIONES FINALES	Cono de detritos, Paquetes de detritos	DESGLIZAMIENTOS ROTACIONALES, SUFUSION, SOCAVAMIENTO	DISTANCIA A DRENAJES		
			DEPOSICION	UNIDADES GEOMORFICAS	

El cuadro 1, describe los factores – conceptualmente señalados los procesos observados en el evento analizado y los criterios considerados. La definición de criterios guarda estrecha relación con la esencia y disponibilidad de los datos, por ejemplo, este análisis es fundamentalmente espacial y orientado al uso de mapas, de allí que los criterios considerados son factibles de obtener a partir de este tipo de fuentes.

El modelamiento de sensibilidad y amenaza

En esta fase, los mapas ya seleccionados deben ser tratados para incorporarlos a la EMC, mediante:

La Normalización de los mapas originales son los valores contenidos en los mapas originales tienen diferentes significados y unidades de medida, por esta razón y para poder compararlos se requiere normalizar sus valores a una misma unidad de medida, por ejemplo a una escala de 0 a 1 (0 representa la más baja potencialidad del criterio a desarrollar deslizamientos, mientras que 1 representa la más alta potencialidad a encontrar en el criterio para desarrollar deslizamientos). En nuestro caso los mapas fueron normalizados por el método del valor máximo, el cual consiste en dividir los valores de cada mapa por su máximo valor a encontrar (Castellanos et al, 2005; Jiang and Eastman, 2000; Malczewski, 1999). Cuando los mapas vienen dados en valores numéricos racionales tales como los mapas de pendientes, disección del relieve y distancia a drenajes, este procedimiento es sencillo. Mapas como el NDVI (el cual es indicativo de la cobertura vegetal), cuyos valores fluctúan entre -1 y 1, debe ser llevado a una escala de valores positivos para luego normalizarlo. Es de hacer notar que en este análisis se trabajo con el NDVI inverso el cual es meramente la inversión de los valores del índice original, de esta manera los valores bajos representaran alta cobertura vegetal mientras que los valores altos una baja cobertura, adecuándose de esta manera su combinación con las demás coberturas de criterios, donde altos valores representan mayor susceptibilidad a deslizamientos y viceversa. En cuanto a los mapas de distribución de la precipitación, para este análisis se produjeron tres mapas representativos de periodos tetramensuales, para su normalización el valor máximo denominador debe ser el valor máximo mensual de precipitación ocurrido durante el año. El mapa de unidades geomorfológicas esta dado en clases y no valores numéricos, se debe entonces ordenar estas clases geomórficas de acuerdo a su predisposición a la erosión y procesos de deslizamientos, asignando luego valores entre 0 (menor predisposición) y 1 (mayor predisposición). De esta manera los mapas originales son convertidos en coberturas de criterios. Posteriormente para poder combinar estas coberturas de criterios en un mapa final, se debe asignar pesos que compensen la participación de cada uno de estas coberturas en el proceso de flujo de detritos/deslizamientos.

La determinación de los pesos

Para la determinación de los pesos dados a los criterios, en este trabajo se empleo el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) o Analytic Hierarchy Process (AHP). Este método desarrollado por Saaty (1990) se basa en el desarrollo de prioridades (en este caso, la importancia del criterio para la generación de un proceso de deslizamiento), que a su vez son derivadas a partir de una evaluación de concordancia o Pairwise, llamados así debido a que solo se permite el análisis de relación de un par de criterios a la vez.

Luego de identificar los pares de criterios, estos son cualificados y cuantificados mediante ciertos parámetros (Huang et al, 2003). En este análisis cada parámetro asigna un puntaje entre 1 y 4 de acuerdo al nivel de importancia de la relación de pares analizados (cuadro 2). Estos valores de concordancia son luego ingresados al MJA (cuadro 3), convirtiendo esta evaluación subjetiva en un conjunto de pesos lineares (Malczewski, 1996).

Cuadro 2. Parámetros usados para la calificación / cuantificación de la concordancia o Pairwise de los criterios involucrados en los procesos de deslizamiento en la subcuenca del río Muñani.

NIVEL DE IMPORTANCIA	DEFINICION	DESCRIPCION
1	Igual Preferencia	Los dos criterios (x, j) contribuyen de igual manera al proceso de deslizamiento
2	Moderada Preferencia	Pasadas experiencias favorecen ligeramente al criterio (x) sobre el otro (j)
3	Fuerte Preferencia	Prácticamente la dominancia del criterio (x) sobre el otro (j) esta demostrada
4	Absoluta Preferencia	Existe evidencia que determina la supremacía del criterio (x)

Cuadro 3. Determinación de los pesos de los criterios mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA).

METODO DE LAS JERARQUIAS ANALITICAS (MJA) (j)	(x)	INCLINACION DE LAS PENDIENTES	DISECCION DEL RELIEVE	COBERTURA VEGETAL	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	DISTANCIA A DRENAJES	FORMA DE LAS PENDIENTES	$\Sigma x_{ij}/n$	PESO RELATIVO $(\Sigma x_{ij} / n) / (\Sigma x_j)$
INCLINACION DE LAS PENDIENTES	1	2	3	4	3	4	2,83	0,30	
DISECCION DEL RELIEVE	0,5	1	2	3	2	4	2,08	0,22	
COBERTURA VEGETAL	0,33	0,5	1	4	3	4	2,14	0,23	
DISTANCIA A DRENAJES	0,25	0,33	0,25	1	3	2	1,14	0,12	
UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	0,33	0,5	0,33	0,33	1	2	0,75	0,08	
FORMA DE LAS PENDIENTES	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	1	0,5	0,05	
	Σx_j						9,44	1	

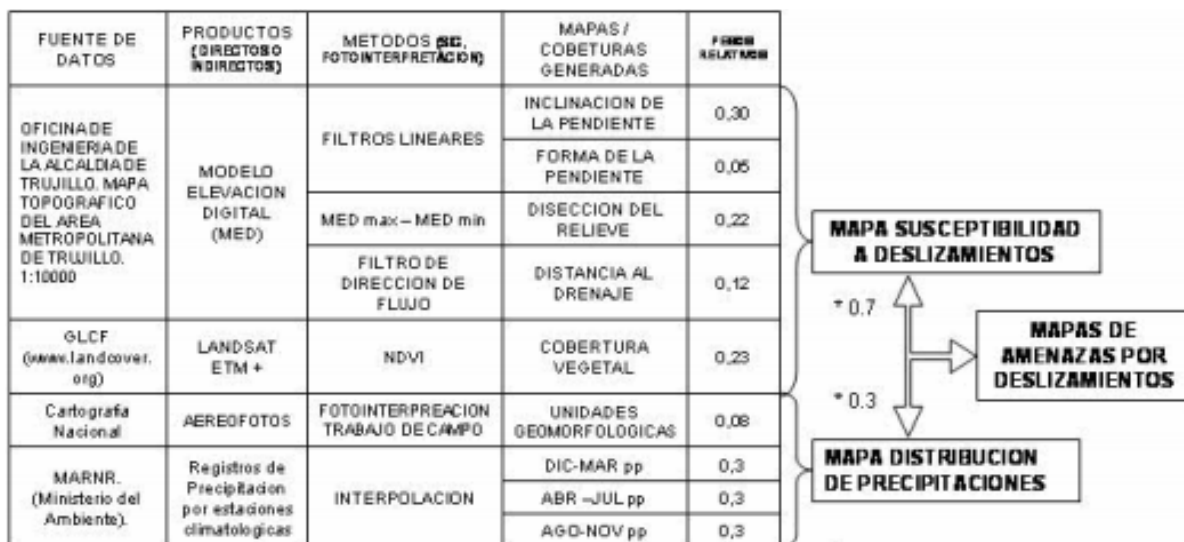
La construcción del mapa de susceptibilidad y de los mapas de amenazas por deslizamientos.

Una vez procesados y normalizados los mapas originales a coberturas de criterios estos son combinados tomando en cuenta los pesos relativos calculados según el MJA tal como se ilustra en la figura. Para la construcción del mapa de susceptibilidad a deslizamientos se combinaron solo las coberturas que representaban los factores pasivos o intrínsecos al este proceso. De esta manera el álgebra para el mapa de susceptibilidad sería:

$$\begin{aligned} \text{SUSCEPTIBILIDAD} = & 0,30 \text{ (INCLINACION DE LAS PENDIENTES)} + 0,22 \text{ (DISECCION DEL RELIEVE)} \\ & + 0,23 \text{ (COBERTURA VEGETAL)} + 0,12 \text{ (DISTANCIA A DRENAJES)} \\ & + 0,08 \text{ (UNIDADES GEOMORFOLOGICAS)} + 0,05 \text{ (FORMA DE LAS PENDIENTES)}. \end{aligned}$$

Debido a que la amenaza es el resultado de la susceptibilidad anteriormente calculada, más el efecto de un agente externo catalizador de la inestabilidad, en este análisis utilizaremos los mapas de distribución mensual de la precipitación del Área Metropolitana de Trujillo como el agente detonante. Para esta adición se consideró nuevamente la asignación de pesos, de una manera similar al anterior proceso pero que dada su simplicidad (al ser solo dos criterios a combinar), este no es ilustrado aquí. Se consideró que la susceptibilidad intrínseca de la cuenca tiene mayor responsabilidad en los procesos de deslizamientos que la ocurrencia de precipitaciones, de aquí que los mapas de amenazas fueron calculados por las fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS (DIC-MAR)} &= 0,7(\text{SUSCEPTIBILIDAD}) + 0,3(\text{PRECIP. DICIEMBRE-MARZO}) \\ \text{AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS (ABR - JUL)} &= 0,7(\text{SUSCEPTIBILIDAD}) + 0,3(\text{PRECIP. ABRIL - JULIO}) \\ \text{AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS (AGO - NOV)} &= 0,7(\text{SUSCEPTIBILIDAD}) + 0,3(\text{PRECIP. AGOSTO-NOVIEMBRE}) \end{aligned}$$



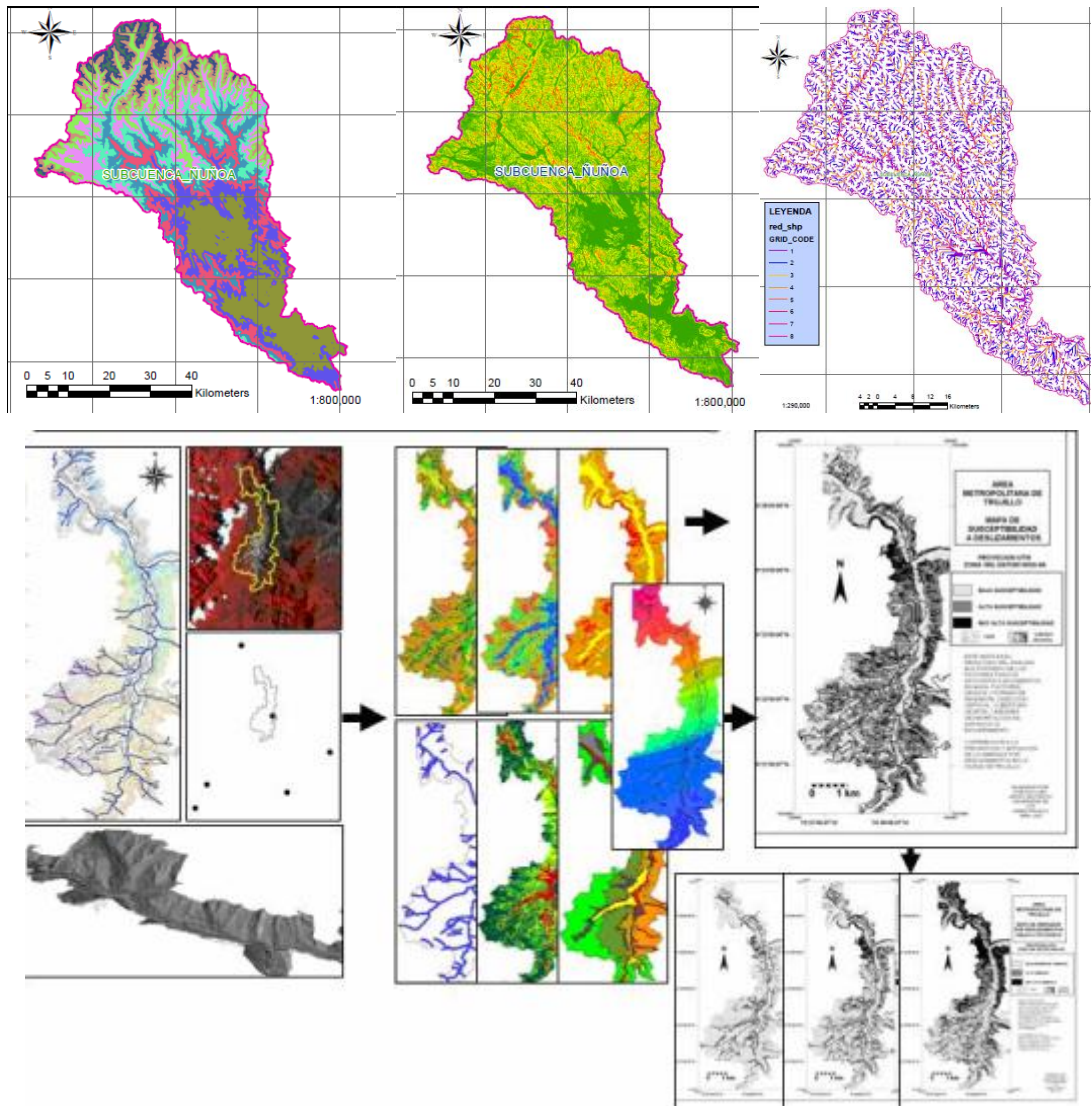


Figura 1. Datos, mapas generados o de criterios y pesos asignados para la producción de los mapas de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos en la Cuenca del Mocotíes. Los valores finales que conforman tanto el mapa de susceptibilidad como los de amenazas pueden ser editados en una escala de 0 (menor susceptibilidad o amenaza) a 1 (mayor susceptibilidad o amenaza), por lo que la leyenda de estos pudiera estar basada en esta progresión de valores, sin embargo, considerando que el usuario final demanda una mayor simplicidad en la lectura de estos mapas, se procedió entonces a clasificarlos en una escala de tres niveles: Bajo-Moderado, Alto y Muy Alto. Para ello es necesario calcular el diagrama de frecuencias o histograma del mapa y la curva de acumulados, definiendo entonces los valores límites entre las clases en las inflexiones de la curva. Igual tratamiento se hace con los mapas de amenazas, solo que los valores límites entre las clases han de ser iguales para los tres mapas, en este caso se utilizó el histograma de valores medios (el mapa de amenazas para el primer periodo lluvioso, Abril – Julio), para definir los valores límites a aplicar en el conjunto de mapas.

Resultados

El mapa de susceptibilidad a deslizamientos, clasifica a la subcuenca del río Ñuñoa en áreas categorizadas según su potencial latente de inestabilidad, mientras que en los mapas amenazas, las áreas están categorizadas de acuerdo a una probable ocurrencia de deslizamientos al cumplirse dos condiciones: la existencia de una susceptibilidad (factor pasivo), frente a un agente detonante (factor activo), como en este caso son consideradas las lluvias. Por esta razón en los mapas de amenazas la intensidad de la susceptibilidad es incrementada o disminuida de acuerdo a la magnitud de las lluvias, por ejemplo, la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos durante el periodo seco, es menor que durante el segundo periodo lluvioso, siendo sin embargo la susceptibilidad a deslizamientos teóricamente la misma en ambos periodos. Las áreas clasificadas como susceptibles y de amenaza a deslizamientos en estos mapas, reflejan la potencialidad de iniciarse un proceso de deslizamiento en sectores así evaluados, pero no necesariamente indican la distancia que puede recorrer el material deslizado o donde éste será depositado. Por lo tanto, se supone existe una amenaza adicional aguas abajo de las áreas clasificadas como de muy alta susceptibilidad y/o amenaza en los mapas ofrecidos, y en los trayectos y desembocaduras de los drenajes de estas áreas, particularmente si los cauces no son encajonados y atraviesan áreas de baja pendiente.

A grandes rasgos tenemos que las áreas menos susceptibles a deslizamientos son los fondos de la subcuenca; sin embargo, tal como se explicaba anteriormente estas áreas son vulnerables a los deslizamientos provenientes de la parte superior de sus vertientes.

TABLA N° 01
Parámetros morfométricos subcuenca Ñuñoa

De la superficie		
Area	km ²	2747.551
Perimetro de la cuenca	km	347.714
Cotas		
Cota máxima	msnmm	5500.000
Cota minima	msnmm	3870.624
Centroide (PSC: wgs 1984 UTM Zone 19S)		
X centroide	m	324311.8485
Y centroide	m	8400999.5696
Z centroide	msnmm	4698.194
Altitud (Area entre curvas de nivel)		
Altitud media	msnmm	4698.1944
Altitud más frecuente	msnmm	3937.0000
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnmm	4400.1083
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	12.30

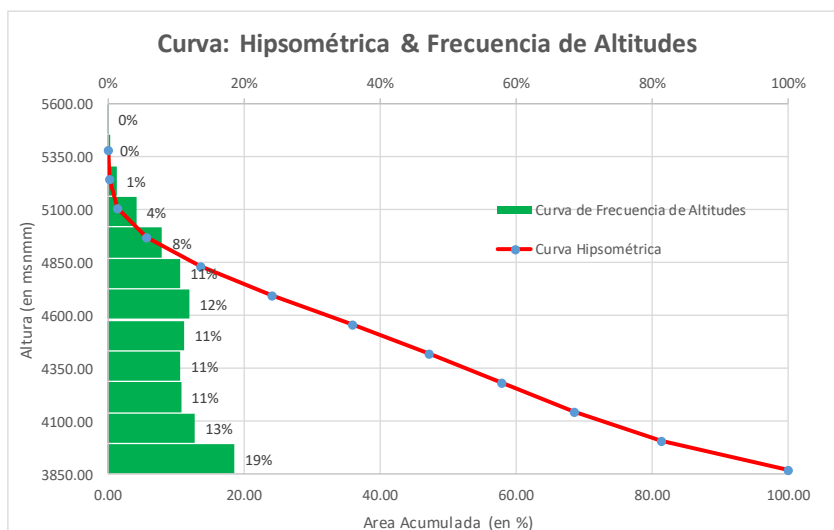
TABLA N° 02
Características de la Red Hídrica

De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal (red_lenght)	km	136.605
Orden de la Red Hídrica	UND	8
Longitud de la Red Hídrica	km	6086.826
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.24
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	19.58283786
Pendiente del cauce principal	m/km	11.9276454
Coefficiente de compacidad (Kc)	UND	1.86
Factor de forma (F)	UND	0.15
Vertiente Menor (Amin)	km	18.214
Indice Asimetrico (Ias)	UND	7.50
Densidad de Drenaje (Dd)	km/km2	2.22
Extensión media - escorrentía superficial	km	0.11

TABLA N° 03
Calculo de la Curva Hipsometrica

Cota máxima (msnmm)=	5500
Cota mínima (msnmm)=	3870.624
Número de intervalos=	12
Altura de intervalo=	135.7813333

Nro	Cota (msnmm)			Area (km2)				
	Minimo	Máximo	Prom "e"	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter	a*e
1	3868.00	4006.00	3937.00	511.313	2747.439024	100.00	18.61	2013038.54
2	4006.00	4144.00	4075.00	350.605	2236.126212	81.39	12.76	1428716.75
3	4144.00	4282.00	4213.00	294.989	1885.520876	68.63	10.74	1242789.06
4	4282.00	4419.00	4350.50	293.369	1590.531779	57.89	10.68	1276303.59
5	4419.00	4557.00	4488.00	307.315	1297.162374	47.21	11.19	1379230.82
6	4557.00	4695.00	4626.00	327.977	989.8471294	36.03	11.94	1517222.54
7	4695.00	4832.00	4763.50	289.540	661.8699272	24.09	10.54	1379225.77
8	4832.00	4970.00	4901.00	218.050	372.3295107	13.55	7.94	1068662.59
9	4970.00	5108.00	5039.00	114.820	154.279605	5.62	4.18	578577.81
10	5108.00	5245.00	5176.50	32.522	39.45963856	1.44	1.18	168349.50
11	5245.00	5383.00	5314.00	6.611	6.937761508	0.25	0.24	35128.54
12	5383.00	5520.00	5451.50	0.327	0.32719672	0.01	0.01	1783.71
				2747.439				#####



Conclusiones

Este análisis se orientó principalmente evaluar la susceptibilidad de la subcuenca del río Ñuñoa, por esta razón se enfoca principalmente al tratamiento de los factores pasivos contribuyentes en los procesos de deslizamientos.

El uso de imágenes de teledetección multiespectrales y multitemporales es de gran utilidad en la elaboración de algunos factores condicionantes de la inestabilidad, como el de cambios recientes de usos del suelo en zonas donde la precisión en su realización se considere importante.

La subjetividad implícita a este método, a la hora de asignar pesos a las clases y a los factores condicionantes de la inestabilidad, es generalmente inferior a la de otros métodos de indexación, ya que este proporciona una medida de consistencia en la asignación de pesos a los factores, siendo además el de éstos dominante con respecto al de las clases en la obtención del índice de susceptibilidad.

Calculamos los parámetros morfométricos de la subcuenca del río Nuñoa, la cual tiene un área de 2747.551 km² con un perímetro de 347.714 km, su parte más elevada está en la cota 5500 msnmm y se ubica en el nevado Junurana y su parte más baja se ubica en la cota 3870.624 msnmm, donde confluye con el río Crucero, Se ubica entre las coordenadas Este 285,817 a 361,549 y Norte 8°353,229 a 8°443,335. La longitud total del río principal es de 136.605 km. resultando una pendiente promedio de 1.24%, presenta una dirección Sureste. El número de orden de la cuenca es 8 y su cota media es de 4698.1944 msnmm

(Puerres, 2016)(Hervás & Lomoschitz, 2002)(Fernando et al., 2016)

Referencia Bibliográficas

- Fernando, J., Quesada, A., Paulín, G. L., Romero, J. U., Alfredo, H., Cuevas, L., & Con, R. (2016). Sistemas de información geográfica y cartografía geomorfológica aplicados al inventario de deslizamientos y cartografía de susceptibilidad en la cuenca del río El Estado , Pico de Orizaba , México Geographic Information Systems and geomorphological mapping applied to landslide inventory and susceptibility mapping in El Estado river , Pico de Orizaba , Mexico. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía*, 2016(91), 43–55. <https://doi.org/10.14350/rig.46503>
- Hervás, J., & Lomoschitz, J. I. B. A. (2002). Elaboración de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante SIG, teledetección y métodos de evaluación multicriterio : aplicación a la depresión de Tirajana (Gran Canaria).
- Puerres, J. A. (2016). Identificación De Zonas Vulnerables A Riesgos De: Inundación, Erosión Y Deslizamientos En El Cantón San Miguel De Urcuquí-Ecuador Mediante El Uso De Sistema De Información Geográfica.
- Aceves-Quesada, F., G. Legorreta-Paulín e Y. Álvarez Ruíz (2014), “Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 62, núm. 2, pp. 329-342.