

SUSCEPTIBILIDAD A LOS *MOVIMIENTOS EN MASA* EN LAS ÁREAS DE CHACHAPOYAS Y LUYA – AMAZONAS – PERÚ APLICACIÓN DEL MÉTODO BIVARIANTE

Manuel VILCHEZ¹, Lucio MEDINA²

INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental. Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú

¹ mvilchez@ingemmet.gob.pe; ² lmolina@ingemmet.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Transcurrido el *Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales de las Naciones Unidas* (DIRDN, 1990-1999), el mundo dio cuenta que se había disminuido la pérdida de vidas, pero el número de desastres y pérdidas económicas aumentó, por una deficiente o nula aplicación de estrategias para reducción de desastres, así como a una deficiente cultura de prevención. Sin embargo en los últimos años, la población ha cambiado su actitud en la forma de hacer frente a los desastres provocados por peligros naturales, el énfasis puesto en la respuesta y ayuda humanitaria después de ocurrido un desastre ha sido cambiada por una mayor atención a las estrategias de reducción de desastres (*EIRD/ONU, 2004*).

La mejor estrategia para reducir los desastres es la prevención, es así que la prevención de los riesgos derivados de los movimientos en masa, pasa necesariamente por su cartografía (*Ayala-Carcedo, 2002*). Los mapas resultantes (mapas de susceptibilidad y peligrosidad) son una herramienta básica para la planificación del territorio (*Irigaray et al., 2002*).

La susceptibilidad es la propensión o tendencia de una zona a ser afectada por movimientos en masa por desestabilización o alcance, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas movidas o alcanzadas. Análisis que se materializa normalmente en forma de mapa de susceptibilidad y suele suponer que el comportamiento futuro de la ladera seguirá las mismas pautas que hasta el presente (*Ayala-Carcedo, 2002*).

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran desplazamiento o remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos no cimentados, o ambos, por efecto de la gravedad. Los movimientos en masa identificados dentro de la zona de estudio se han descrito utilizando la clasificación de movimientos en masa del *PMA:GCA (2007)*, de esta manera se identificaron deslizamientos, caídas, flujos, reptación de suelos, movimientos complejos y procesos de erosión de laderas.

En un principio los análisis de susceptibilidad eran obtenidos a partir del cruce de manera manual de mapas con información geomorfológica, topográfica, litológica, estructural, cobertura vegetal, etc., y de análisis estadísticos, procedimientos que eran muy **tediosos** y demandaban mucho tiempo. Con la difusión de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los años 1990, se ha facilitado el análisis de la susceptibilidad, se ha ampliado las posibilidades metodológicas, la reducción de tiempos y costos (*Ayala-Carcedo, 2002*). Actualmente los SIG permiten el análisis de la susceptibilidad a la rotura por deslizamientos así como la elaboración de mapas de susceptibilidad y peligro de manera sistemática rápida y eficiente, permitiendo ampliar el manejo de grandes bases de datos y realizar cálculos de estimación de la susceptibilidad que eran inviables en grandes áreas (*Santacana, 2001*).

En este contexto, la necesidad de contar con una herramienta que sirva para realizar trabajos de planificación del territorio en las provincias de Chachapoyas y Luya, se ha creído por conveniente realizar el análisis de susceptibilidad de las laderas a la ocurrencias de movimientos en masa, que involucra a 12 distritos importantes de estas provincias, dentro de los cuales se encuentra ubicada la capital de la región.

UBICACIÓN Y COMPRENSIÓN ADMINISTRATIVA

La *zona de estudio* se localiza en las provincias de Chachapoyas y Luya, ubicada en la parte sur-central de región Amazonas, geográficamente se ubica entre los paralelos 6° 07' 30'' - 6° 22' 30'' de

latitud sur y 77° 45' 00" - 78° 00' 00" de longitud Oeste, haciendo una extensión superficial de 601.1 km² (Figura n° 1). Morfológicamente el área comprende las unidades denominadas *Cordillera Oriental*, *Cordillera Interandina*, *Faja subandina*.

Políticamente pertenece a las provincias de *Chachapoyas* (distritos de Chachapoyas, Magdalena, Huancas, San Juan de Sonche, Levanto y San Isidro de Mayno) y *Luya* (distritos de Lamud, Luya, Lonya Chico, Colcamar, Tingo e Inguilpata).

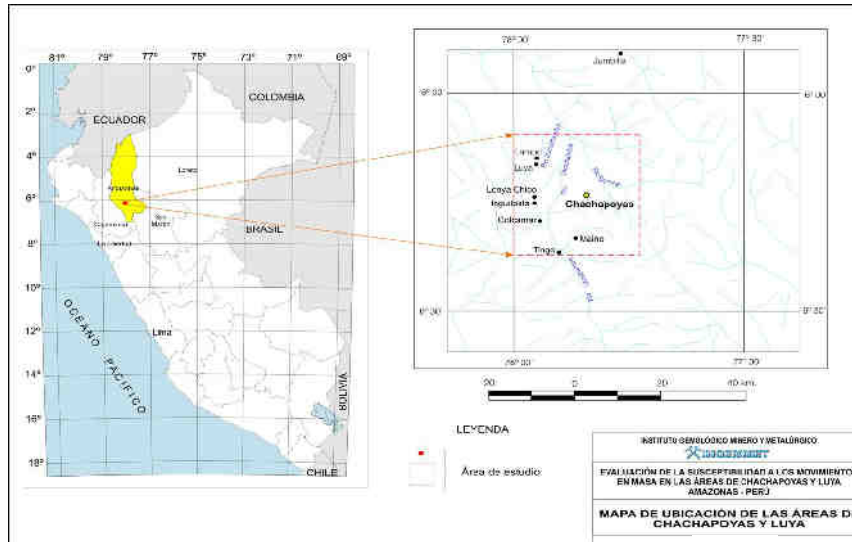


Figura n° 1: Ubicación del área de estudio.

ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA UTILIZANDO EL METODO BIVARIANTE

El *método bivariante* es un método estadístico que relaciona mapas de parámetros o factores condicionantes y densidad de deslizamientos, de esta forma, para nuestro análisis estadístico bivariado, se tiene como variable independiente el mapa de inventario de movimientos en masa; con este método se determina el peso o fragilidad de cada unidad de terreno (diferenciada en cada uno de los mapas de factores que intervienen en el análisis) tienen hacia la generación de fenómenos de movimientos en masa.

Los datos de entrada son determinantes en el análisis de susceptibilidad, sin buenos datos es muy difícil hacer un análisis de buena calidad (Hermanns et al. 2007). De esta manera los *parámetros o factores condicionantes*, considerados en la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos en masa (caída, deslizamientos, movimientos complejos, flujos, reptación de suelos y erosión de laderas) en las zonas de Chachapoyas y Luya, fueron la *litología*, la *geomorfología*, la *cobertura vegetal* y la *pendiente de las laderas*.

En cuanto al análisis estadístico, el método de zonificación de la susceptibilidad se basa principalmente en identificar y determinar cuantitativamente el peso o grado de influencia que cada factor intrínseco (condicionante), tiene en la generación de los fenómenos de movimientos en masa (Ojeda et al., 2001). El peso o grado de influencia que tiene cada factor intrínseco del terreno en la generación de cada uno de los movimientos en masa, así como de todos los movimientos en masa identificados, debe de ser determinado, para esto primero se realiza el cruce de cada una de las capas temáticas de los factores condicionantes considerados en el análisis, con cada uno de los tipos de movimientos en masa de la capa inventario de movimientos en masa, esto se hace con la ayuda del SIG, de esta manera se obtiene los valores de áreas de cada uno de los movimientos en masa presentes dentro de cada una de las unidades cartográficas diferenciadas dentro de los mapas de factores condicionantes (Figura n° 2).

Una vez obtenidos estos valores de áreas, se convierten a porcentajes y se aplica la metodología propuesta por Hermanns et al., (2007), en donde plantea que el peso (W_i) para cada una de las unidades de atributo diferenciadas en los mapas de factores o parámetros que influyen en la ocurrencia

TABLA N° 1:
CALCULO ESTADISTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	4	5	SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM²) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES LITOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 =12/5	19 =13/5	20 =14/5	21 =15/5	22 =16/5	23 =17/5
Código	Unidad	Área total por unidad	% de área por unidad	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
11	Q-al	9.64	1.6	0.02	0.02	0.062	0	0	0	0.073	0.15	2.77	0	0	0	0.046	0.096	1.729	0	0	0
12	Q-eg	32.99	5.5	3.67	3.07	0.001	0.629	8.404	0	11.47	20.70	0.05	12.30	62.25	0	2.092	3.776	0.009	2.2437	11.36	0
13	Q-ee-de	18.05	3.0	1.10	1.48	0	0.098	0.011	1.32	3.429	9.99	0	1.88	0.08	63.77	1.143	3.331	0.000	0.6270	0.027	21.28
14	Q-p-al	8.11	1.3	0.16	0	0	0.000	0	0	0.512	0	0	0.00	0	0	0.280	0	0.000	0.0004	0	0
15	Q-p	2.17	0.4	0.02	0	2.124	0.025	0	0	0.058	0	0	0.058	0	0	0.161	0	263.307	1.3699	0	0
16	N-in	61.23	10.2	9.12	3.03	0.025	0.704	0.192	0.11	28.46	20.42	1.14	13.77	1.42	5.48	2.798	2.007	0.112	1.3539	0.14	0.539
V1	Jl-e, Ks-eh, Ks-p	47.00	7.8	0.99	0.96	0.007	0.594	0.690	0	3.099	6.48	0.30	11.61	5.11	0	0.397	0.930	0.038	1.4865	0.654	0
V2	K-oh	56.14	9.3	1.31	0.91	0	0.630	0.265	0	4.093	6.17	0	12.31	1.97	0	0.439	0.662	0.000	1.3200	0.211	0
V3	Cia, K-g	126.22	21.0	11.04	1.87	0.0001	1.542	1.898	0.84	34.46	11.30	0.00	30.17	14.06	30.74	1.943	0.539	0.000	1.4388	0.671	1.466
V4	J-s, K-gal, Pe-ma	26.06	4.3	1.49	0.58	0.002	0.081	0.402	0	4.644	3.90	0.09	1.58	2.98	0	1.073	0.901	0.021	0.3645	0.689	0
V5	Jms-o	2.93	0.5	0.55	0.04	0	0.004	0.184	0	1.754	0.28	0	0.07	1.37	0	3.502	0.579	0.000	0.1531	2.894	0
V6	J-a	41.60	6.9	1.04	0.90	0.006	0.455	0.588	0	3.24	6.08	0.25	8.90	4.36	0	0.469	0.880	0.037	1.2871	0.631	0
V7	J-oh	107.26	17.8	1.38	0.97	0.010	0.354	0.884	0	4.318	6.58	0.46	6.92	6.40	0	0.242	0.309	0.026	0.3883	0.359	0
V8	Ps-m	61.67	10.2	0.13	1.18	0	0	0	0	0.4	7.96	0	0	0	0	0.039	0.776	0.000	0	0	0
V9	Pe-e, Pe-m	0.85	0.1	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000	0	0	0
Total		601.92	100	32.04	14.82	2.237	5.113	13.50	2.07	100	100	100	100	100	100						

TABLA N° 2:
CALCULO ESTADISTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LOS VALORES DE PENDIENTES A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	4	5	SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM²) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS PENDIENTES A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 =12/5	19 =13/5	20 =14/5	21 =15/5	22 =16/5	23 =17/5
Código	Unidad	Área total por unidad	% de área por unidad	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	0-6°	70.46	11.71	3.99	1.23	1.244	0.340	0.431	0.3023	9.332	8.29	55.64	6.94901	3.196	14.6	0.797	0.708	4.761	0.5676	0.273	1.247
2	5-10°	72.21	12.00	3.41	2.31	0.300	0.682	0.807	0.8853	10.63	15.58	13.41	13.33	5.96	42.76	0.886	1.296	1.117	1.1107	0.468	3.662
3	10-15°	91.32	15.18	4.11	2.30	0.258	0.877	2.304	0.43	12.82	15.51	11.56	17.15	17.07	20.83	0.845	1.022	0.761	1.2999	1.126	1.372
4	15-25°	128.64	29.67	8.89	4.83	0.269	1.558	5.65	0.9582	22.14	33	12.01	30.44	41.87	17.2	0.914	1	0.465	1.0257	1.411	0.58
5	25-35°	113.79	18.91	6.24	2.78	0.115	0.820	2.886	0.0852	19.49	19	5.16	16.04	21.38	4.258	1.031	1	0.273	0.8482	1.131	0.225
6	35-45°	56.01	9.31	4.00	1.19	0.037	0.583	1.182	0.01	12.48	8.08	1.64	11.40	8.76	0.37	1.341	0.886	0.177	1.2247	0.941	0.039
7	45-90°	19.33	3.21	2.60	0.18	0.013	0.255	0.235	0	6.111	1.25	0.59	4.89	1.74	0	2.524	0.388	0.184	1.5538	0.542	0
Total		601.92	100	32.04	14.82	2.237	5.113	13.50	2.07	100	100	100	100	100	100						

TABLA N° 3:
CALCULO ESTADISTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES MORFOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	4	5	SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM²) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES MORFOLÓGICAS A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 =12/5	19 =13/5	20 =14/5	21 =15/5	22 =16/5	23 =17/5
Código	Unidad	Área total por unidad	% de área por unidad	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	Col	10.77	1.79	0.20	0.45	0.00	0.186	0	0	0.628	3.03	0.00	3.6393	0	0	0.351	1.696	0	2.0344	0	0
2	Ms	198.96	33.06	1.71	3.77	0.00	0.738	6.067	0.05291	6.34	25.46	0.00	14.4325	37.53	2.556	0.162	0.770	0	0.4366	1.135	0.077
3	Md	13.82	2.30	1.09	0.87	0	0.101	0.010	1.32	3.41	5.95	0	1.9689	0.08	63.72	1.485	2.540	0	0.9568	0.033	27.76
4	Jg	21.05	3.50	0.01	0	0	0.000	0	0	0.032	0	0	0.0008	0	0	0.009	0	0	0.0002	0	0
5	Me	286.63	47.62	16.39	9	0.006	3.630	7.585	0.69827	51.14	58	0.27	70.9921	56.26	33.72	1.074	1.224	0.01	1.4908	1.181	0.708
7	Ta	9.71	1.61	0.01	0.02	0	0	0	0.00	0.034	0.15	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.021	0.096	0	0.0000	0	0
8	Ap	2.28	0.38	0.02	0.00	2.222	0.025	0	0	0.054	0.00	99.32	0.4939	0.00	0	0.144	0	283.97	1.3128	0	0
10	Es	18.60	3.14	5.30	0.07	0	0.075	0.417	0	16.53	0.48	0	1.4831	3.09	0.003	5.266	0.145	0	0.4724	0.383	0.001
11	Ad	29.37	4.88	7.24	0.68	0.0092	0.345	0.246	0.00	22.6	4.58	0.41	6.7686	1.82	0.00	4.631	0.938	0.08	1.3648	0.374	0
12	Dga	8.03	1.33	0.06	0.00	0.000	0.000	0	0	0.186	0.00	0.00	0.0007	0.00	0	0.140	0	0	0.0005	0	0
13	Pa	0.26	0.04	0.01	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0.00	0	0.0000	0.00	0	0.110	0.000	0	0.0000	0	0
Total		601.92	100	32.04	14.82	2.237	5.113	13.50	2.071	100	100	100	100	100	100						

TABLA N° 4:
CALCULO ESTADISTICO DEL PESO O SUSCEPTIBILIDAD DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL A LOS MOVIMIENTOS EN MASA

1	2	4	5	SUPERFICIE ACUMULADA DE PROCESOS (KM²) EN CADA UNIDAD						% DE PROCESOS EN CADA UNIDAD						SUSCEPTIBILIDAD O PESOS (W) DE LAS UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL A LOS MOVIMIENTOS EN MASA					
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 =12/5	19 =13/5	20 =14/5	21 =15/5	22 =16/5	23 =17/5
Código	Unidad	Área total por unidad	% de área por unidad	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	tipo 5	tipo 6
1	Cul	193.40	25.49	2.67	5.73	0.8561	1.4098	4.901	1.088	8.342	38.69	38.27	27.57	30.31	52.53	0.327	1.518	1.5015	1.0818	1.425	2.061
2	Ps	264.84	60.61	19.94	8.39	1.3726	3.7007	8.597	0.373	61.94	56.63	61.35	72.37	63.68	18.02	1.022	0.934	1.0122	1.1940	1.051	0.297
3	Bs	68.84	11.44	0.04	0.68	0.0057	0.0029	0.001	0	0.133	4.58	0.253	0.06	0.01	0.00	0.012	0.399	0.0221	0.0049	0	0
4	Ad	12.05	2.00	8.48	0.017	0.0028	0.00001	0	0	0.506	29.57	0.12	0.128	0.0003	0	29.28	14.767	0.058	0.0637	0.0001	0
5	Zu	2.77	0.46	0.00	0.001	0	0	0	0	0.003	0.015	0.01	0.00	0	0	0.164	0.032	0.019	0	0	0
Total		601.92	100	32.04	14.82	2.237	5.113	13.50	2.071	100	100	100	100	100	100						

Una vez establecida esta relación se recodifican o reclasifican los valores de pesos iniciales (valores

obtenidos en los campos 18, 19, 20, 21, 22 y 23 de las tablas) de las unidades cartográficas del terreno en términos de susceptibilidad. Como paso previo a esta reclasificación de valores de pesos (W) obtenido del análisis, es esencial transformar cada una de las capas de vector (litología, geomorfología, cobertura vegetal y mapa de inventario de peligros geológicos) a formato raster en el SIG, puesto que este análisis de susceptibilidad se basa en la reclasificación de valores de grilla.

Estos valores, una vez reclasificados en rangos de susceptibilidad, son introducidos en cada uno de las capas raster de factores condicionantes, obteniéndose capas raster con valores de susceptibilidad de la cobertura vegetal a las caídas de rocas, susceptibilidad de la geomorfología a las caídas de rocas, susceptibilidad de las pendientes a las caídas de rocas y susceptibilidad de la litología a la caída de rocas; y así para cada uno de los movimientos en masa evaluados. Ahora sumando las cuatro capas raster de susceptibilidad de los factores condicionantes a las caídas de rocas, se obtiene un mapa de susceptibilidad a la caída de rocas basado en los cuatro factores condicionantes considerados.

Se opera de manera similar para obtener el mapa de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos, flujos de detritos (huaycos), movimientos complejos, reptación de suelos y erosión de laderas. El mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa es obtenido por adición de estas seis capas de susceptibilidad según el tipo de movimiento en masa (*Figura n° 3*). Este mapa final es reclasificado en rangos de susceptibilidad que van desde muy baja hasta muy alta.

CONCLUSIONES

- Los SIG permiten una fácil y muy versátil manipulación de las coberturas temáticas, así como de sus tablas relacionadas, permitiendo realizar tareas diversas, que van desde la digitalización de datos analógicos (mapas en papel), hasta el geoprocésamiento de varias coberturas temáticas.
- La rapidez con que se realiza en el SIG el cruce de las diferentes capas temáticas, consideradas como parámetros condicionantes de la inestabilidad con el mapa de inventario de movimientos en masa, representa una gran ventaja para la aplicación del método bivalente.
- El método bivalente, que utiliza el análisis estadístico de densidad de movimientos en masa presentes en cada unidad diferenciada dentro de cada uno de los mapas de parámetros condicionantes, reduce el factor subjetivo que se tiene cuando el experto que realiza el análisis de susceptibilidad adjudica los valores de pesos a las unidades de los mapas de factores condicionantes.
- El análisis de la susceptibilidad es una herramienta valiosa en la evaluación de áreas con susceptibilidad a movimientos en masa y si es utilizada responsablemente, permite incrementar los conocimientos en cuanto a los riesgos con que vive una comunidad, así como también se puede realizar tareas de planificación que permitan alcanzar el desarrollo de esta.
- El mapa deberá ser usado como una herramienta de zonificación de la susceptibilidad a nivel semi-detallado y, para alcanzar una mayor resolución y precisión en la zonificación de la susceptibilidad, se debe continuar trabajando con información y datos de mayor resolución.

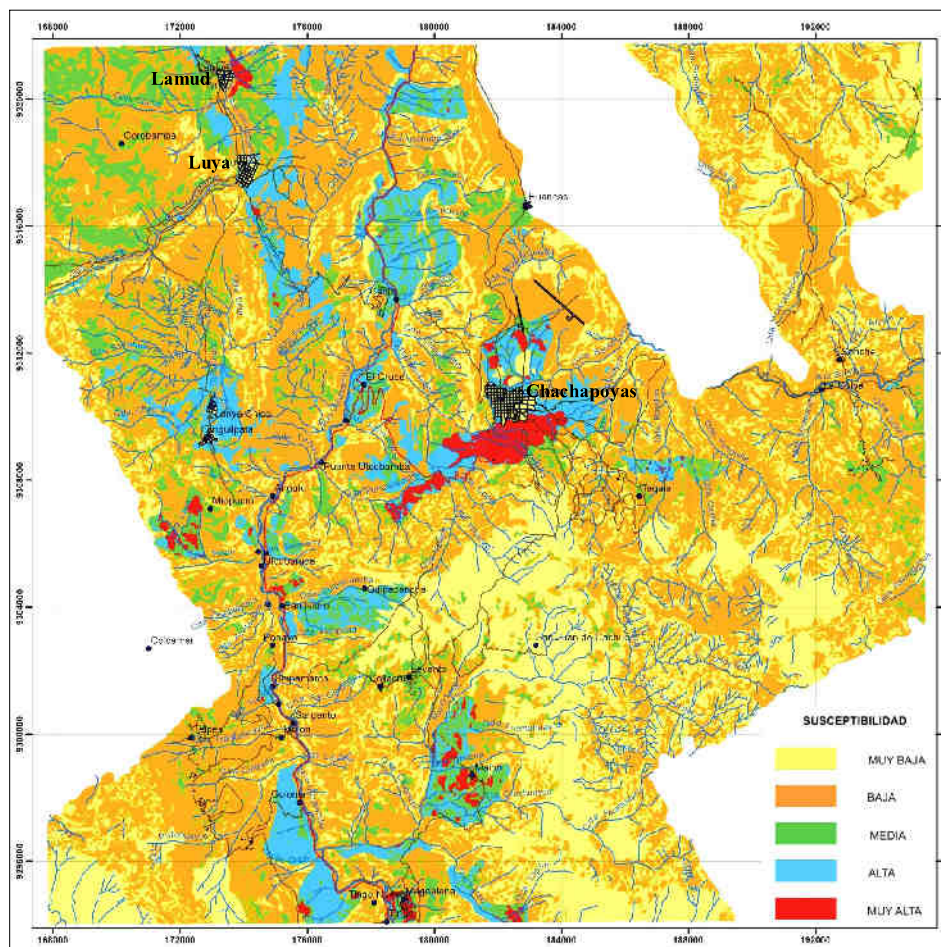


Figura n° 3: Mapa de susceptibilidad total a los movimientos en masa de las zonas de Chachapoyas y Luya.

REFERENCIAS

- Ayala-Carcedo, F. J. 2002. Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, funciones, problemática y límites. En F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas, (eds.). *Mapas de Susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y Aplicaciones en España*, Instituto Geológico y Minero de España, p. 7-20.
- EIRD/ONU. 2004. Vivir con el riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres versión Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas.
- Hermanns, R.; Cerritos, O.; Valencia, J. Y Courtney, J. 2007. Guía metodológica y práctica para la generación de mapas de susceptibilidad a deslizamientos con ARCGIS. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas PMA:GCA.
- Irigaray, C. Y Chacon, J 2002. Métodos de análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante SIG. En: F. J. Ayala-Carcedo y J. Corominas (eds.). *Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España*. Instituto Geológico y Minero de España, 21-36.
- Ojeda, J.; Castro, E.; Valencia, A. Y Fonseca, S. 2001. Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa- Guía metodológica. Colombia: INGEOMINAS - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- PMA:GCA-PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica Multinacional, N° 4, 432 p., un CD-ROM
- Santacana, N. (2001) *Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat*. Tesis Doctoral Universidad Politecnica de Cataluña. Barcelona.