

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ARTÍCULO CIENTÍFICO

**ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO GEOLÓGICO EN LA CIUDAD DE
BAMBAMARCA**

Para optar el título profesional de:
Ingeniero Geólogo

Presentado Por:
Bach. Elder Donal Molocho Díaz

Asesor:
MCs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca – Perú
2017

ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO GEOLÓGICO EN LA CIUDAD DE BAMBAMARCA

Elder Molocho* y José Siveroni²

1 Tesista, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional de Cajamarca.

2 Asesor de tesis, Docente investigador de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Palabras Clave: Peligrosidad, Factores Condicionantes, Factores Desencadenantes, Vulnerabilidad, Zonificación de Nivel de Riesgo.

RESUMEN

La ciudad de Bambamarca presenta sectores con distintas características geológicas, topográficas y geotécnicas, donde se establecen centros urbanos y se realiza la construcción de viviendas y obras civiles sin haberse realizado estudios que determinen el comportamiento de la zona ante la ocurrencia de fenómenos naturales, con el fin de evaluar el nivel de riesgo al que se expone.

El objetivo principal es estimar el nivel del riesgo geológico, para lo cual se ha utilizado el proceso de análisis jerárquico, que consiste en calcular los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad a partir de parámetros y descriptores, con la matriz de peligrosidad vs vulnerabilidad se calcula en nivel del riesgo es así que el mapa de zonificación de riesgo de la ciudad de Bambamarca y zonas de expansión urbana indica el nivel de riesgo alto en las microcuencas de las quebradas Chala, la Antena, las Tinajas, los Chungos, Maygasbamba, las Tayas y la Asistencia y del río Tingo-Maygasbamba, donde puede ocurrir el colapso de viviendas construidas generalmente de adobe, por la deformación del suelo, presencia de grietas de tensión en los cortes de talud, la distancia muy cerca de las laderas y un mal estado de conservación; y nivel de riesgo medio de las microcuencas del río Año Mayo y las quebradas Mayhuasi y Corellama, donde probablemente colapsaran viviendas de uno a dos pisos construidas de adobe o ladrillo de regular estado de conservación.

ABSTRACT

The city of Bambamarca presents sectors with different geological, topographic and geotechnical characteristics, where urban centers are established and the construction of houses and civil works is carried out without having carried out studies that determine the behavior of the zone before the occurrence of natural phenomena, with the to assess the level of risk to which it is exposed.

The main objective is to estimate the level of geological risk, for which the hierarchical analysis process has been used, which consists of calculating the levels of danger and vulnerability based on parameters and descriptors, with the hazard vs. vulnerability matrix calculated in Risk level is that the risk zoning map of the city of Bambamarca and areas of urban expansion indicates the high level of risk in the microbasins of the Chala, Antena, Tinajas, Chungos, Maygasbamba, Tayas and Assistance and the Tingo-Maygasbamba River, where the collapse of houses usually built of adobe, due to the deformation of the soil, presence of tension cracks in the slope cuts, the distance very close to the slopes and a poor state of conservation; And medium level of risk of the microbasins of the Year of the Mayo river and the Mayhuasi and Corellama ravines, where probably one or two-storey houses built of adobe or brick of regular state of conservation.

*eldermd15@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bambamarca presenta sectores con distintas características geológicas, topográficas y geotécnicas, donde se han establecidos centros urbanos y se realiza la construcción de viviendas y obras civiles sin haberse realizado estudios que determinen el comportamiento de la zona ante la ocurrencia de fenómenos naturales, con el fin de evaluar el nivel de riesgo al que se expone y tomar las medidas preventivas necesarias. Actualmente, existen medios disponibles para reducir los factores del riesgo geológico que preocupan no sólo porque causan daños a la humanidad y a las propiedades, sino también porque pueden ser agravados por las actividades de desarrollo, en este contexto, la presente investigación busca obtener controles a través de la estimación del riesgo, para prevenir, mitigar y reducir el impacto de un evento negativo generado por la materialización de peligros geológicos.

De allí la importancia de responder la siguiente incógnita: ¿Cuál es el nivel de riesgo geológico que presenta la ciudad de Bambamarca? en esta investigación comprobaremos la hipótesis que indica que mediante el análisis e identificación de las principales variables del riesgo geológico presentes en la ciudad de Bambamarca es posible estimar y proponer escenarios de riesgo ante la ocurrencia de un peligro geológico.

El objetivo principal de la investigación es estimar el nivel de riesgo geológico en la ciudad de Bambamarca. Los objetivos específicos son: identificar las características de los factores condicionantes y desencadenantes que generan los peligros geológicos, analizar las condiciones de vulnerabilidad y realizar un mapa de zonificación del Riesgo Geológico en la ciudad de Bambamarca.

2 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

2.1 Evaluación de Peligrosidad

Adaptando la definición Varnes (1997) la peligrosidad es “la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinada, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica” Por tanto, la evaluación de la peligrosidad implica localizar las áreas inestables y las potencialmente inestables. Esto, a su vez, requiere determinar el tipo de los

movimientos en masa, su magnitud y posible desplazamiento ladera abajo, así como los factores relacionados con la estabilidad y su contribución a la inestabilidad.

2.2 Análisis de Elementos Expuestos

Otro de los parámetros que intervienen en el riesgo es la exposición (exposure), especialmente el valor de los elementos expuestos o en riesgo. Los movimientos en masa o deslizamientos provocan numerosos daños sobre los principales elementos expuestos, tanto en vidas humanas como en pérdidas económicas (González de Vallejo, 1988; Brabb & Harrod, 1989).

2.3 Análisis de Vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad requiere un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura, actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo. Para valorar la vulnerabilidad debe tenerse en cuenta el tipo, proximidad y distribución espacial de las elementos afectados o población, grado de protección ofrecida a las personas por la naturaleza del elemento, escala o volumen probable de la falla, grado de prevención o alarma, velocidad del movimiento y su respuesta, así como la posibilidad de efectos secundarios.

2.4 Cálculo del Riesgo

El expresar los conceptos de peligro (amenaza), vulnerabilidad y riesgo, ampliamente aceptada en el campo técnico científico Cardona (1985), Fournier d'Albe (1985), está fundamentada en la ecuación, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función $f()$ del peligro y la vulnerabilidad. Para estratificar el nivel del riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada: matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad. Para tal efecto, se requiere que previamente se halla determinado los niveles de intensidad y posibilidad de ocurrencia de un determinado peligro y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El presente estudio de investigación se desarrolla en la zona urbana y perimétrica de la ciudad de Bambamarca. Geopolíticamente comprende los

barrios y zonas de expansión urbana; que pertenecen al distrito de Bambamarca. Posee un área total de 09 km² y se ubica en las siguientes coordenadas, sistema UTM, DATUM WGS84.

Tabla 1. Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de estudio.

	Longitud	Latitud
P1	772 000	9 262 000
P2	775 000	9 262 000
P3	775 000	9 259 000
P4	772 000	9 259 000

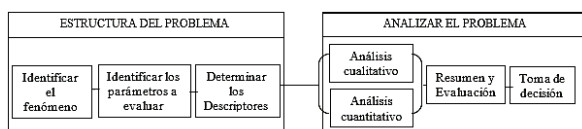
3.2 Metodología de la Investigación

El problema a investigar tiene características descriptivas, explicativas y relacionantes. Los métodos de investigación son: descriptivo, analítico, deductivo y explicativo.

3.3 Análisis de Datos y Presentación de Resultados

Para la Estimación del Riesgo Geológico se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) el cual es un método multicriterio que permite incorporar criterios cuantitativos y cualitativos. Este método fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980) diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permite estructurar el problema de forma visual. El punto central del PAJ es el proceso de asignar ponderación a los parámetros y descriptores relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados. Para la estimación del valor de la importancia relativa de cada uno de los indicadores se recurre a una metodología de comparación de pares.

Gráfico 1 Flujo metodológico (CENEPRED, 2015)



La Técnica del Proceso de Análisis Jerárquico, para esta investigación utilizó los parámetros y descriptores relacionados a los movimientos en masa, zonificando el área en microcuencas, calculando nivel de peligrosidad, susceptibilidad, vulnerabilidad y nivel del riesgo que son presentados en mapas.

3.4 Análisis de datos y presentación de resultados

3.4.1 Factores Condicionantes a peligros geológicos

A. Geomorfológicos

Planicies (0° A 8°) Presentan una cobertura de depósitos fluvio-aluviales a márgenes del río Llaucano, con un aspecto de paisajes llanos abiertos. Siendo visibles en la microcuenca de la quebrada Agomarca y Maygasbamba.

Lomadas (8° a 20°) Estas geoformas han sido originadas por procesos de denudación y erosión. Ocupan la microcuenca de la quebrada Asistencia, las Tinajas, parte de las Tayas y del Río Año Mayo.

Laderas (20° a 50°) Estas geoformas en el área de estudio se ubican hacia la parte occidental del río Llaucano y la ciudad de Bambamarca. Ocupan la microcuenca de la quebrada Corellama, los Chungos y la Antena.

B. Geología

Formación Celendín (Ks-ce) Esta Formación aflora al oeste y sur de la ciudad de Bambamarca, consiste en capas medianas de caliza nodular arcillosa intercaladas con lutitas. La caliza y las margas presentan moderada resistencia a la acción de agentes naturales, con intensa meteorización, fracturado y diaclasado.

Formación Cajamarca (Ks-ca) Esta formación aflora al oeste de la ciudad de Bambamarca, consiste en calizas tipo Packstone de estratos gruesos.

Formación Chota (KTi-ch) Los afloramientos de esta formación se encuentran al sur y este de la ciudad de Bambamarca, consiste en capas medianas de 10 cm y gruesas de 20 cm en poca proporción de calizas, intercaladas con lutitas de color gris y marrón amarillento.

Volcánico Huambos (Ts-vh) Los afloramientos se encuentran al sur y este de la ciudad de Bambamarca, consiste en gruesas andesitas y dacitas de color gris oscuro por la meteorización, intercaladas con tobas dacíticas y brechas dacíticas de color gris claro.

Depósito Aluvial (Qr – al) Este depósito se encuentra localizado en ambas márgenes de los

ríos Llaucano y Magaysbamba. Lo conforman las llanuras aluviales y terrazas (medias y bajas), consiste en sedimentos depositados a lo largo de los cauces de los ríos, en forma de estratos superpuestos hacia la superficie del suelo, están constituidos por lentes de arcilla, estratos de limos, arenas y gravas, de matriz arenoso, el espesor promedio es de 40 m.

Depósito Coluvial (Qr – co) Depósitos ubicados en la parte noreste de la ciudad de Bambamarca, depósitos que han sido transportado por la acción de la gravedad y agua, están compuestas por cantos sub redondeados y sub angulosos en una matriz areno arcillosa.

Depósito Coluvial (Qr – fl) Estos depósitos están constituidos por gravas y arenas de diferente naturaleza, sedimentarias, dispuestas en las márgenes y en el cauce de los ríos Llaucano y Tingo Maygasbamba, y son aprovechados como agregados.

C. Hidrología

Hidrográficamente la zona de estudio se encuentra en la cuenca del río Llaucano, influenciado principalmente por los ríos Llaucano, Tingo-Maygasbamba y Año Mayo y las quebradas Las Tayas, La Asistencia, Las Tinajas, Maygasbamba, Corellama, Los Chungos, Las Antenas y Chala.

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de Resultados

El área de estudio se ha dividido en microcuencas, en las cuales para obtener el nivel de riesgo se ha realizado una ponderación jerárquica de los parámetros de peligro (Textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad de desplazamiento de movimientos de masas), de vulnerabilidad (características geológicas del suelo, localización de edificaciones, material de edificación de las construcciones y elevación de las edificaciones), los factores condicionantes (geomorfología, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso actual de suelos) y como principal factor desencadenante a las lluvias.

A. Valorización del Peligro, Factores Condicionantes y Desencadenantes

Microcuenca Quebrada Chala

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	15°-30°	0.073
Textura del Suelo	Moderadamente gruesa	0.021
Erosión	Laderas con moderada meteorización, parcial erosionados, no saturadas	0.007
Velocidad de desplaz.	Muy rápido	0.012
VALOR		0.113

Tabla 2 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Accidentado con valles profundos, ladera montañosa	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares finos y grava coluvial.	0.035
Cob. vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Suelos cultivables por temporadas	0.073
VALOR		0.120

Tabla 3 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Actividades económicas	0.318
VALOR		0.389

Tabla 4 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada La Antena

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	30°-45°	0.142
Textura del suelo	Moderadamente gruesa	0.021
Erosión	Laderas con sustrato rocoso no meteorizado, se puede haber inestabilidad en laderas, en los ríos por socavamiento y erosión.	0.004
Velocidad de desplaz.	Muy rápido	0.012
VALOR		0.113

Tabla 5 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve rocoso, relativamente escarpado	0.019
Tipo del suelo	Afloramiento rocoso y estratos de grava	0.018
Cob. vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Suelos cultivables por temporadas	0.073
VALOR		0.113

Tabla 6 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Actividades económicas	0.318
VALOR		0.389

Tabla 7 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca del río año mayo

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	15°-30°	0.073
Textura del suelo	Gruesa	0.011
Erosión	Moderadamente meteorizado.	0.014
Velocidad de desplaz.	Rápido	0.006
VALOR		0.104

Tabla 8 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Accidentado con valles.	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares finos y grava aluvial	0.035
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Suelos cultivables por temporadas	0.073
VALOR		0.120

Tabla 9 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Crecimientos demográficos	0.022
VALOR		0.093

Tabla 10 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Las Tinajas

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	5°-15°	0.037
Textura del suelo	Finos: suelos arcilloso arenosos.	0.154
Erosión	Zonas con suelos moderadamente meteorizados.	0.014
Velocidad de desplaz.	Moderado	0.003
VALOR		0.208

Tabla 11 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Accidentado con valles.	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares finos y grava aluvial	0.035
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Área urbana	0.142
VALOR		0.189

Tabla 12 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Infraestructura	0.085
VALOR		0.156

Tabla 13 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Los Chungos

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	30°-45°	0.142
Textura del suelo	Moderadamente grueso	0.021
Erosión	Ladera con substrato rocoso, erosionados y expuesto a socavamiento por río Llaucano.	0.004
Velocidad de desplaz.	Muy rápido	0.012
VALOR		0.179

Tabla 14 Valorización de peligro de la microcuenca.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve rocoso moderadamente empinado.	0.019

Tipo del suelo	Afloramiento rocoso y estratos coluviales	0.018
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Suelos cultivables por temporadas	0.073
VALOR		0.113

Tabla 15 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.093

Tabla 16 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca del río tingo-maygasbamba

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	15°-30°	0.073
Textura del suelo	Grueso: suelos arenosos.	0.011
Erosión	Depósitos superficiales moderadamente consolidados, zonas expuestas a la erosión.	0.026
Velocidad de desplaz.	Lenta	0.002
VALOR		0.112

Tabla 17 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Zonas expuestas a huaycos.	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares y grava aluvial	0.035
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Área urbana	0.142
VALOR		0.189

Tabla 18 Valorización factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.093

Tabla 19 Valorización factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Mayhuasi

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	15°-30°	0.073
Textura del suelo	Moderadamente grueso	0.021
Erosión	Laderas con erosión moderada.	0.014
Velocidad de desplaz.	Rápida	0.006
VALOR		0.114

Tabla 20 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve con valles y quebradas poco profundas.	0.010
Tipo del suelo	Afloramientos rocosos y suelos arenosos	0.018
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Área urbana	0.142
VALOR		0.172

Tabla 21 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.043
VALOR		0.114

Tabla 22 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Maygasbamba

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	5°-15°	0.037
Textura del suelo	Grueso: suelos arenosos.	0.011
Erosión	Laderas con meteorización moderada y erosión parcial.	0.007
Velocidad de desplaz.	Moderada	0.003
VALOR		0.058

Tabla 23 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Zonas de huaycos	0.010

Tipo del suelo	Suelos granulares, sobre grava aluvial	0.035
Cob. vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Área urbana	0.142
VALOR		0.189

Tabla 24 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimientos de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.093

Tabla 25 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Corellama

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	5°-15°	0.037
Textura del suelo	Grueso: suelos arenosos.	0.011
Erosión	Laderas con substrato rocoso moderadamente meteorizado.	0.004
Velocidad de desplaz.	Rápida	0.006
VALOR		0.058

Tabla 26 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve poco accidentado, valles y quebradas	0.010
Tipo del suelo	Afloramientos rocos y estratos de cantos.	0.018
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Suelos poco productivos	0.010
VALOR		0.040

Tabla 27 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Caídas de bloques	0.009
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.085

Tabla 28 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada Las Tayas

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	5°-15°	0.037
Textura del suelo	Moderadamente Gruesa: suelos arenosos.	0.021
Erosión	Laderas con erosión moderada.	0.014
Velocidad de desplaz.	Moderada	0.003
VALOR		0.075

Tabla 29 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve poco accidentado. Zona de huaycos	0.010
Tipo del suelo	Relleno sanitario	0.259
Cobertura vegetal	5-20%	0.004
Uso actual de suelos	Áreas urbanas	0.142
VALOR		0.415

Tabla 30 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimiento de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.093

Tabla 31 Valorización de factores desencadenantes.

Microcuenca Quebrada La Asistencia

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	15°-30°	0.073
Textura del suelo	Finos a medianos: suelos arena arcillosos.	0.154
Erosión	Zonas con intensa erosión	0.051
Velocidad de desplaz.	Moderada	0.003
VALOR		0.281

Tabla 32 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve poco accidentado. Zona de huaycos	0.010

Tipo del suelo	Relleno sanitario	0.259
Cob. vegetal	5-20%	0.004
Uso actual de suelos	Áreas urbanas	0.142
VALOR		0.415

Tabla 33 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimiento de masas	0.018
Antrópicos	Crecimiento demográfico	0.022
VALOR		0.093

Tabla 34 Valorización de factores desencadenantes.

Intercuenca

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	5°-15°	0.037
Textura del suelo	Gruesa: suelos gravosos y arenosos.	0.011
Erosión	Laderas con moderada o poco meteorización, parcialmente erosionados.	0.007
Velocidad de desplaz.	Lenta	0.002
VALOR		0.056

Tabla 35 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve poco accidentado. Zona de huaycos	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares, sobre depósito aluvial	0.035
Cob. vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Cultivos diversos como productos alimenticios	0.073
VALOR		0.120

Tabla 36 Valorización de los factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimiento de masas	0.018
Antrópicos	Actividades económicas	0.318
VALOR		0.389

Tabla 37 Valorización de los factores desencadenantes

Microcuenca Quebrada Agomarca

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Pendiente prom.	0°-5°	0.019
Textura del suelo	Moderadamente Gruesa: suelos arenosos.	0.021
Erosión	Laderas con meteorización moderada y erosión parcial.	0.007
Velocidad de desplaz.	Moderada	0.003
VALOR		0.050

Tabla 38 Valorización de peligro.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Relieve	Relieve poco accidentado. Zona de huaycos	0.010
Tipo del suelo	Suelos granulares y suelos arcillosos	0.035
Cobertura vegetal	0-5%	0.002
Uso actual de suelos	Áreas urbanas y suelos cultivables productos alimenticios.	0.142
VALOR		0.189

Tabla 39 Valorización de factores condicionantes.

PARÁMETRO	DESCRIPTOR	VALORIZACIÓN
Hidrometeorológicos	Lluvias	0.053
Geológicos	Movimiento de masas	0.018
Antrópicos	Crecimientos demográficos y actividades económicas	0.022
VALOR		0.093

Tabla 40 Valorización de factores desencadenantes.

B. Valorización de la Susceptibilidad

El nivel de la susceptibilidad depende de los factores condicionantes y desencadenantes.

MICROCENCA	SUSCEPTIBILIDAD		VALOR
	FACT. COND.	FACT. DESENC.	
Quebrada chala (1)	0.060	0.195	0.255
Quebrada la Antena (2)	0.056	0.195	0.251
Rio Año Mayo (3)	0.060	0.047	0.107
Quebrada las Tinajas (4)	0.094	0.078	0.172
Quebrada los Chungos(5)	0.056	0.047	0.103
Rio Tingo-Maygasbamba (6)	0.094	0.047	0.141

Quebrada Mayhuasi(7)	0.086	0.057	0.143
Quebrada Maygasbamba (8)	0.094	0.047	0.141
Quebrada Corellama (9)	0.020	0.042	0.062
Quebrada las Tayas (10)	0.207	0.047	0.254
Quebrada la Asistencia (11)	0.207	0.047	0.254
Intercuenca (12)	0.060	0.195	0.255
Quebrada Agomarca (13)	0.094	0.047	0.141

Tabla 41 Cálculo de la susceptibilidad.

C. Cálculo del Nivel de la Peligrosidad

El nivel de la susceptibilidad que está influenciado directamente por los valores del peligro y la susceptibilidad.

MICROC UENCA	CÁLCULO DE PELIGROSIDAD		COEF. PONDERACIÓN	NIVEL DE PELIGROSIDAD
	PELIGRO	SUSCEPTIBILIDAD		
1	0.056	0.127	0.184	ALTO
2	0.089	0.126	0.215	ALTO

3	0.052	0.053	0.105	MEDIO
4	0.104	0.086	0.190	ALTO
5	0.089	0.051	0.141	ALTO
6	0.056	0.070	0.126	MEDIO
7	0.057	0.071	0.128	MEDIO
8	0.029	0.070	0.099	MEDIO
9	0.029	0.031	0.060	BAJO
10	0.037	0.127	0.164	ALTO
11	0.141	0.127	0.268	MUY ALTO
12	0.028	0.127	0.156	ALTO
13	0.025	0.070	0.095	MEDIO

Tabla 42 Cálculo del nivel de peligrosidad.

D. Nivel de Vulnerabilidad

Los elementos expuestos son susceptibles a fenómenos de origen geológico, por lo cual pasamos al análisis de la vulnerabilidad, el cual está influenciado por las características geológicas del suelo, localización de edificaciones, material de construcción de las edificaciones y elevación de las construcciones.

NIVEL DE VULNERABILIDAD						
MICROC UENCA	CARACT GEOL	LOC EDIF	MATER CONS	ELEV CONSTR	COHEF POND	NIVEL DE VULNERABILIDAD
Quebrada Chala	0.026	0.080	0.037	0.003	0.146	ALTA
Quebrada la Antena	0.026	0.080	0.037	0.003	0.146	ALTA
Microcuenca del río Año Mayo	0.014	0.080	0.037	0.003	0.133	MEDIA
Quebrada las Tinajas	0.014	0.080	0.019	0.006	0.118	MEDIA
Quebrada los Chungos	0.026	0.080	0.037	0.003	0.146	ALTA
Microcuenca del Río Tingo-Maygasbamba	0.014	0.154	0.037	0.006	0.211	ALTA
Quebrada Mayhuasi	0.014	0.080	0.037	0.003	0.133	MEDIA
Quebrada Maygas	0.014	0.154	0.037	0.003	0.208	ALTA
Quebrada Corellama	0.026	0.154	0.037	0.003	0.221	ALTA
Quebrada las Tayas	0.051	0.154	0.037	0.012	0.254	ALTA
Quebrada la Asistencia	0.051	0.154	0.019	0.006	0.230	ALTA
Intercuenca	0.014	0.154	0.037	0.003	0.208	ALTA
Quebrada Agomarca	0.014	0.080	0.037	0.003	0.133	MEDIA

Tabla 43 Tabla resumen de vulnerabilidad

4.2 Discusión de Resultados

A Cálculo del Nivel del Riesgo

El riesgo a que está expuesta la ciudad o parte de ella, es la resultante de la interacción entre la peligrosidad y la vulnerabilidad.

Una vez identificados los peligros (P) a los que está expuesta la ciudad, y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural.

MICROCUE NCA	PELIGROSI DAD	VULNERAB ILIDAD	COH POND	RIESGO
Quebrada Chala	0.184	0.146	0.027	ALTO
Quebrada la Antena	0.215	0.146	0.031	ALTO
Rio Año Mayo	0.105	0.133	0.014	MEDIO
Quebrada las Tinajas	0.190	0.118	0.022	ALTO
Quebrada los Chungos	0.141	0.146	0.021	ALTO
Rio Tingo-Maygasbamba	0.126	0.211	0.027	ALTO
Quebrada Mayhuasi	0.128	0.133	0.017	MEDIO
Quebrada Maygas	0.099	0.208	0.021	ALTO
Quebrada Corellama	0.060	0.221	0.013	MEDIO
Quebrada las Tayas	0.164	0.254	0.042	ALTO
Quebrada la Asistencia	0.268	0.230	0.062	ALTO
Intercuenca	0.156	0.208	0.032	ALTO
Quebrada Agomarca	0.095	0.133	0.013	MEDIO

Tabla 44 Estimación del nivel de riesgo geológico.

5 CONCLUSIONES

Los factores desencadenantes en las 13 microcuencas que ocupa la zona urbana de Bambamarca y sus áreas de expansión, están caracterizados por lluvias en los meses de diciembre hasta abril, movimientos de masas, crecimiento demográfico y actividades económicas; y los factores condicionantes están caracterizados por relieves rocosos en las

microcuencas de las quebradas la Antena y los Chungos; relieve accidentado en las microcuencas de las quebradas Chala, río Año Mayo, las Tinajas y Mayhuasi; y relieve expuesto a huaycos en las microcuencas de las quebradas río Tingo – Maygasbamba, Corellama, las Tayas, la Asistencia, Intercuenca, Agomarca y Maygasbamba.

Las microcuencas de las quebradas Chala, la Antena, los Chungos, Maygasbamba, Corellama, las Tayas, la Asistencia, Intercuenca y el río Tingo – Maygasbamba presentan una vulnerabilidad alta, donde el suelo tiene una baja capacidad portante, el material de construcción que predomina en las edificaciones es adobe, se ubican a menos de 200 metros de laderas y las pérdidas ante la ocurrencia de un peligro sería muy considerables; las microcuencas de las quebradas las Tinajas, Mayhuasi, Agomarca y río Año Mayo presentan una vulnerabilidad media, donde el suelo tiene una capacidad portante media, el material de construcción es adobe y ladrillo, se ubican a más de 200 metros de laderas y las pérdidas ante la ocurrencia de un peligro serían considerables.

El mapa de zonificación de riesgo de la ciudad de Bambamarca y zonas de expansión urbana indica el nivel de riesgo alto en las microcuencas de las quebradas Chala, la Antena, las Tinajas, los Chungos, Maygasbamba, las Tayas y la Asistencia y del río Tingo-Maygasbamba, donde puede ocurrir el colapso de viviendas construidas generalmente de adobe, por la deformación del suelo, presencia de grietas de tensión en los cortes de talud, la distancia muy cerca de las laderas y un mal estado de conservación; y nivel de riesgo medio de las microcuencas del río Año Mayo y las quebradas Mayhuasi y Corellama, donde probablemente colapsaran viviendas de uno a dos pisos construidas de adobe o ladrillo de regular estado de conservación.

6 RECOMENDACIONES

La Municipalidad Provincial de Hualgayoc-Bambamarca debe formular ordenanzas municipales específicas que limiten la construcción de nuevas edificaciones o la ampliación de las existentes, en los sectores críticos, Cinco Esquinas, Av. La Paccha, Jr.

Antonio Vásquez y Pról. Alfonso Ugarte, cabecera de la quebrada Las Tinajas y sector los Pinos en la calle Esteban Campos; éstas deben estar orientadas a desalentar la densificación de dichos sectores, además planificar el ordenamiento urbano y territorial con el fin de delimitar las áreas expuestas por peligros naturales.

En el caso de deslizamientos y reptación de suelos en zonas críticas como las Cinco Esquinas y la margen izquierda del río Llaucano, al este de I.E. Nuestra Señora de Lourdes, la Municipalidad Provincial de Hualgayoc-Bambamarca debe efectuar medidas de mitigación consistentes en la consolidación de suelos mediante acciones forestales y construcción de banquetas cuya ubicación debe estar en función a la pendiente, morfología y litología a fin de reducir las condiciones de inestabilidad y mitigar los problemas geológicos de estas zonas.

En el caso de caída de rocas en taludes en la Av. La Paccha, a la altura del mirador y en la calle Esteban Campos, Barrio los Pinos, la Municipalidad Provincial de Hualgayoc – Bambamarca debe estabilizar con mallas ancladas para taludes, a fin de proteger y controlar las condiciones de inestabilidad del talud.

AGRADECIMIENTOS

El Tesista agradece a su alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, y en especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por sus enseñanzas durante su formación académica. A su asesor MCs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales, por su orientación y apoyo incondicional durante el desarrollo de esta investigación. A sus padres, hermanos y amigos por su apoyo en todo el proceso de esta investigación.

REFERENCIAS

Amigó, J., Altimir, J., & Torreadella, J. (2009). Metodología para la determinación del riesgo geológico por caída de bloques rocosos en la red de carreteras de Andorra (Principado de Andorra). Barcelona, España: Principat d' Andorra.

Ayala Carcedo, F. J. (1987). Introducción a los riesgos geológicos. Madrid: I.G.M.E.

Bisbal, A. (2010). Atlas de Peligros Naturales del Peru. Lima, Peru: INDECI.

Briceño, K., Sanchez, Y., Uzcategui, M., & Gonzales, L. (2008). Estudio de los riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del Río El Limón como aporte al plan de ordenación del territorio del estado de Aragua. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 217-224.

CENEPRED. (2015). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales. Lima, Peru: Cenepred.

GEMMA. (2007). Movimientos de Masa en la Región Andina: Una Guía para la evaluación de amenazas (1ª ed.). Toronto, Canada: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas.

INDECI. (2011). Manual de estimación de riesgo ante movimientos en masa de laderas. Lima, Peru: Indeci.

Núñez, S. (2015). Peligro por Deslizamiento en el sector la Sacilia. Lima, Peru: Ingemmet.

Oliva, A., & Gonzales, J. (2015). Evaluación del riesgo por inestabilidad de laderas. Casos de estudio. Grupo ITEICO Euroamericano, 39.

Petak, W. J., & Atkisson, A. A. (1982). Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating. New York: Springer-Verlag.

Reyes, L. (1980). Geología de los cuadrángulos cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima, Peru: Ingemmet.

Suarez, J. (2007). Deslizamientos - Análisis Geotécnico (1ª ed.). Bogotá, Colombia: U.I.S. Escuela de filosofía.

Varnes, D. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides of the IAEG, UNESCO. *Natural Hazards* No. 3, 61 pp.

Zavala, D., & Barrantes, R. (2007). Zonas críticas por Peligros Geológicos e hidrológicos en la región Cajamarca. Lima-Peru: Ingemmet.

Zavala, E., & Rosado, M. (2011). Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Lima, Peru: Ingemmet.