

EVALUATION OF SUSCEPTIBILITY BY MASS MOVEMENTS AND MITIGATION PROPOSAL IN THE CABALLOLANO POPULATION CENTER, JESÚS - CAJAMARCA, 2024

Miguel Ricardo Portilla Castañeda ¹; Hugo Filadelfio Vera Cortez ²; Ezequiel Alex Bringas Cerna ³;

^{1,3}First to third Author's, Private University of the North, Perú, miguel.portilla@upn.edu.pe N00037189@upn.pe , N00017572@upn.pe

Abstract- Mass movements have generated 17% of the loss of life due to natural disasters worldwide, said loss of life in developing countries is often due to a combination of geological and human factors. The general objective of this work is to develop the mitigation proposal based on the evaluation of susceptibility to mass movements and in the Caballolano population center, Jesús, Cajamarca, 2024. With a non-experimental, cross-sectional design and data collection instruments in the observation form; the population is defined by the geomorphological structures and the geological material present in the study area. The results obtained according to the descriptors of lithology, slope, rock type, vegetation, geoforms and considering the values of the weights where station 1 a high susceptibility 0.433, station 02 and 03 susceptibilities 0.483 and 0.443, categorized as very high susceptibility and station 4 a moderate susceptibility of 0.29. Concluding that the mitigation proposal through the installation of drainage works, the installation of geogrid and Bolts with measurements of 1.5 meters and the geometric change of the slope or Re-excavation, stabilizing the present slopes.

Key words: Landslides, slope stability, geological hazards, mass movements, susceptibility assessment

EVALUACIÓN DE SUCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN EN EL CENTRO POBLADO CABALLOLANO, JESÚS - CAJAMARCA, 2024

Miguel Ricardo Portilla Castañeda ¹; Hugo Filadelfio Vera Cortez ²; Ezequiel Alex Bringas Cerna ³;

^{1,3}First to third Author's, Private University of the North, Perú, miguel.portilla@upn.edu.pe N00037189@upn.pe, N00017572@upn.pe

Resumen- Los movimientos en masa han generado el 17 % de las pérdidas de vidas por desastres naturales en todo el mundo, dichas pérdidas de vidas en los países en desarrollo a menudo se deben a una combinación de factores geológicos y humanos. El presente trabajo tiene como objetivo general elaborar la propuesta de mitigación en función a la evaluación de susceptibilidad por movimientos de masa y en el centro poblado Caballolano, Jesús, Cajamarca, 2024. Con un diseño no experimental, de corte transversal e instrumentos de recolección de datos a la ficha de observación; la población está definida por las estructuras geomorfológicas y el material geológico presentes en el área de estudio. Los resultados obtenidos según los descriptores de litología, pendiente, tipo de roca, vegetación, geformas y considerando los valores de las ponderaciones en donde la estación 1 una susceptibilidad alta 0.433, la estación 02 y 03 susceptibilidades 0.483 y 0.443, categorizándose como susceptibilidad muy alta y la estación 4 una susceptibilidad moderada de 0.29. Concluyendo que la propuesta de mitigación mediante la instalación de obras de drenaje, la instalación de geomalla y Pernos con medidas de 1.5 metros y el cambio geométrico del talud o Re excavación, estabilizando los taludes presentes.

Palabras Claves: Deslizamientos, estabilidad de taludes, peligros geológicos, Movimientos en masa, evaluación de susceptibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa han generado el 17 % de las pérdidas de vidas por desastres naturales en todo el mundo, dichas pérdidas de vidas en los países en desarrollo a menudo se deben a una combinación de factores geológicos y humanos que, en determinadas condiciones hidrológicas y meteorológicas, provocan movimientos en masa. Países como Japón causo 259 pérdidas humanas anualmente mientras que Estados Unidos 165 y España 60, además grandiosas pérdidas económicas. En Sudamérica, Colombia es el más afectado debido a las condiciones de trópico húmedo [1]. En cuanto al centro nacional de estimación,

prevención y reducción de riesgos de desastres; además las características geológicas, geomorfológicas, la ubicación de nuestro país en una zona de actividad sísmo tectónica y volcánica, su diversidad climática, su población altamente vulnerable, hacen de nuestro Perú un país en riesgo de desastres [2].

Los fenómenos naturales en el Perú y a nivel mundial, tienen una amplia manifestación a lo largo y ancho del territorio debido a las características geológicas, geomorfológicas, climatológicas, etc., que determinan un comportamiento geodinámico muy activo: sismos, huaycos, deslizamientos, inundaciones, etc. La ocurrencia de deslizamientos, caída de rocas son fenómenos sujetos a diferentes tipos de movimientos, velocidades, fallamientos, tipos de materiales, procesos geológicos [3]. En la ocurrencia de peligros geológicos inventariados (2176 ocurrencias), el análisis estadístico muestra a los deslizamientos en primer lugar (36,81%), le siguen las caídas de rocas y derrumbes (22,25%), los flujos (17,83%), los procesos de erosión de laderas (10,25%), movimientos complejos (7,81%), erosión e inundación fluviales (3,22%), reptaciones (1,56%), hundimientos (0,18%) y vuelcos (0,09%). Dentro de los flujos antiguos [4].

Es así que los movimientos de masas provocan anualmente enormes pérdidas humanas y económicas a nivel nacional. Las estrategias de mitigación incluyen una combinación de medidas preventivas y curativas, incluyen medidas estructurales y no estructurales. Como en otras áreas destinadas a minimizar daños de cualquier tipo, las medidas preventivas y no estructurales son generalmente las más adecuadas y menos costosas. Entre estos está el desarrollo de modelos de sensibilidad, que son herramientas esenciales para guiarnos en las políticas de gestión del riesgo de desastres y la planificación del uso del suelo, incluidos los desastres y la mitigación de desastres. [5]. Se calculó en nuestro país: 32.735 centros poblados en riesgo muy alto por movimientos en masa, siendo Cusco, Ancash, Puno y Huánuco las regiones con mayor población expuesta, dichas regiones representan

en conjunto un 51% del total. También informó que 62,037 familias, 1,901 establecimientos médicos y 12,504 instituciones educativas se encuentran en peligro por movimientos de masa. [6].

Los movimientos en masa constituyen los procesos geológicos que involucran la remoción de masas rocosas (fracturadas y/o meteorizadas), depósitos no consolidados (suelos de diferente origen) o ambos, por efecto de la gravedad. Su ocurrencia está estrechamente ligada a factores detonantes como lluvias (de gran intensidad o gran duración), sismicidad asociada tanto a la subducción, como a fallas activas existentes [7]. los procesos geológicos son cualquier fenómeno natural que producen cambios en los materiales de la corteza terrestre o en las formas que estos adoptan. Los cambios pueden ser desde modificaciones fisicoquímicas hasta movilizaciones y transporte de los materiales. Los fenómenos naturales han estado presentes en toda la historia de la evolución de nuestro planeta y hoy en día causan muchos daños en cuanto a pérdidas de vidas humanas, económicas y alteraciones en el ambiente. [8].

[9] En su investigación análisis de riesgo por movimientos de masa e inundaciones en la subcuenca del río Chimbo (Ecuador), utilizo la metodología de Mora y Vahrson modificada, usando indicadores como: pendiente, litología, cobertura vegetal, sismo y precipitación. También determinó el área vulnerable por ambas amenazas a través de encuestas, el resultado fue el promedio simple para cada vulnerabilidad. Finalmente, genero la cartografía de riesgo para las áreas expuestas a la amenaza por deslizamientos de tierra, señalando tres niveles, moderado alto y muy alto

[10] propuso evaluar los riesgos geológicos del cerro Azoguini – Región Puno que nos ayude a establecer las medidas de prevención y minimizar los desastres ocasionados por los fenómenos naturales. empleando una ficha de observación. Finalmente, los resultados obtenidos fueron que se definió el área como de vulnerabilidad alta muy alta, y peligro alto a muy alto por estar en una zona geológicamente inestable, debido a esta problemática es que se plantea encontrar la relación que existe entre los fenómenos naturales y desastres que puedan ocurrir.

[11] Evaluó los riesgos geológicos de una Microcuenca, con un diseño no experimental y desarrollando el estudio Desarrollado el Estudio en toda la Microcuenca, en la zona norte de la ciudad de Puno, el instrumento empleado fue una ficha de observación. El resultado obtenido es que se determinó que la peligrosidad por inundaciones es de mayor relevancia, abarcando el 47%, seguido de la peligrosidad sísmica con un 20% y la peligrosidad por movimientos en masa

en un 13% del área total, manifestándose en la zona central y baja de la microcuenca

[12]. En su trabajo, tuvo como resultados que se encontraron un total de 61 unidades geomorfológicas agrupadas en tres ambientes, 33 de ambiente denudaciones; 6 de ambiente morfoestructural y 22 de ambiente fluvial. Por otra parte, se identificaron 20 movimientos de masa de tipo caída, reptación y deslizamiento, obteniéndose un total de 29 zonas con riesgo, catalogadas en riesgo muy alto, alto, moderado y bajo.

[13] elaboró la evaluación de la inestabilidad por movimientos en el Municipio de San Luis de Cubarral en Colombia. El método seleccionado es el de análisis discriminante para la obtención de la susceptibilidad a movimientos en masa. Para su desarrollo se determinaron 362 muestras inestables que pertenecen a geoformas susceptibles a movimientos en masa, han servido para determinar aleatoriamente 362 puntos de zonas inestables

[14] En su investigación sobre metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa en la provincia de Tuxtla Gutiérrez en México, elabora un mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa (PRM) a partir del método heurístico con combinación de análisis multicriterio, y con ello determino cinco niveles de amenaza en la zona urbana, abarcando los siguientes porcentajes: muy baja 5%, baja 27.1%, media 39.3%, alta 15.3 % y muy alta 13.3%, siendo la última quien se distribuye en su mayor parte en los depósitos de talud, con el cálculo se obtuvieron que la población expuesta es de 62,500 habitantes, (11,6% del total)

[15] Realizó un trabajo de investigación sobre la estimación de riesgos por movimientos en masa en la subcuenca del río Ancash. Dicho estudio fue realizado con la metodología de “procesos de análisis jerárquico” que permite medir criterios cualitativos y cuantitativos a través de una escala común. De la misma manera ha procedido para el análisis de la vulnerabilidad en el ámbito económico, social y ambiental, obteniendo como producto un mapa de riesgos por movimientos en masa.

. En el estudio Análisis de modelos de deslizamiento en bloque para predecir el comportamiento dinámico del fenómeno de remoción en masa según el Modelo Uniparamétrico y Modelo Paramétrico, se comparan dos modelos conceptuales de deslizamiento en bloque para determinar las propiedades cinemáticas de una masa deslizante, como alcance, velocidad y aceleración. La investigación

destaca cómo las variaciones conceptuales entre los modelos afectan la magnitud de la respuesta obtenida, proporcionando una comprensión más profunda del comportamiento dinámico de los deslizamientos y contribuyendo al desarrollo de herramientas predictivas más precisas para la gestión de riesgos asociados a movimientos de masa. [16].

[17]. En su trabajo "Movimientos en masa, modeladores del paisaje en los Andes peruanos", realiza una descripción detallada de los eventos de movimientos en masa en esta región, incluyendo su clasificación, actividad, litología, morfometría, causas y efectos secundarios. El estudio enfatiza la importancia de comprender estos procesos geológicos como modeladores del paisaje andino y su relevancia en la planificación territorial y la mitigación de riesgos naturales

[18] Llevaron a cabo una investigación centrada en la aplicación de modelos de aprendizaje automático para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos en la región andina. Utilizando un conjunto de datos geoespaciales que incluía variables topográficas, geológicas y climáticas, los autores entrenaron y validaron varios modelos predictivos. Los resultados demostraron que los modelos basados en aprendizaje automático superaron a los métodos tradicionales en términos de precisión y capacidad predictiva. Este estudio destaca la importancia de incorporar técnicas avanzadas de análisis de datos en la evaluación de riesgos geológico.

[19] investigaron cómo el cambio climático influye en la frecuencia y magnitud de los movimientos de masas en áreas montañosas. A través de un análisis de series temporales de datos climáticos y registros históricos de deslizamientos, encontraron una correlación significativa entre el aumento de precipitaciones extremas y la incidencia de movimientos de masas. Los autores sugieren que las proyecciones climáticas futuras indican un incremento en eventos de lluvias intensas. [20] realizaron un análisis exhaustivo sobre la estabilidad de taludes en suelos tropicales, evaluando diversos métodos y sus aplicaciones prácticas. Mediante estudios de campo y modelado numérico, identificaron los factores clave que afectan la estabilidad, como la composición del suelo, la vegetación y las condiciones hidrológicas. Con un enfoque integrado que combina técnicas geotécnicas tradicionales con herramientas de modelado avanzado para mejorar la precisión en la evaluación de riesgos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Etapa de gabinete (Pre campo)

En esta fase se recopiló y se analizó la información bibliográfica sobre movimientos en masa, información cartográfica, mapas geológicos, topográficos entre otros, dicha información fue recopilada de artículos científicos, revistas, instituciones como el INGEMMET, CENEPRED, INDECI, entre otras instituciones orientadas al tema de peligros geológicos y ordenamiento territorial, en esta fase también se delimito la zona de estudio (distrito de Jesús – Cajamarca). Se Elaboró sus curvas de nivel con una separación de cada 50 metros, su elaboración nos sirve como base para la creación de mapas de ubicación, pendientes, vegetación, geológico, geomorfológico, vulnerabilidad, susceptibilidad y mapa de riesgo.

B. Etapa de campo

Esta fase consistió en el desarrollo de una evaluación de susceptibilidad y ante movimientos en masa, para poder determinar los factores detonantes y condicionantes para que ocurran movimientos en masa, con ello la por elaborar mapas de susceptibilidad, por movimientos de masas y con estos estudios proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos por movimientos en masa. Se inició con obtención de información dependientes y precipitaciones, se clasificó en Factores Condicionantes y Factores Desencadenante determinando los descriptores que predominan en la zona de estudio, Luego se clasifica los descriptores de cada factor de alta susceptibilidad a baja susceptibilida.

C. Trabajo en gabinete (Post campo)

Se verifica el tipo de matriz el cual considera la cantidad de descriptores de cada factor; en este caso nuestra matriz es de 4x4. y se evalúa la intensidad de preferencia de un parámetro frente a otro, donde los valores oscilan entre 9 y 1/9 teniendo en cuenta a la escala de Saaty, luego se hace una suma de cada columna y debajo de ella se obtiene la división de 1 entre la suma; se realiza la Matriz de Normalización la cual consiste en hallar el Vector Priorización, para ello primero debe obtenerse los valores mediante la multiplicación de los valores de la Matriz de Comparación de pares por la división de 1 entre la suma total, seguido se obtiene, el vector priorización es la suma de cada valor de la fila entre la cantidad de estos; adicional a esto se obtiene el porcentaje del vector priorización el cual es multiplica por 100%.

D. Ubicación

Geográficamente el área de estudio se encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al Oeste de la ciudad de Cajamarca, en el distrito de Jesús, en la Provincia de Cajamarca (figura 1).

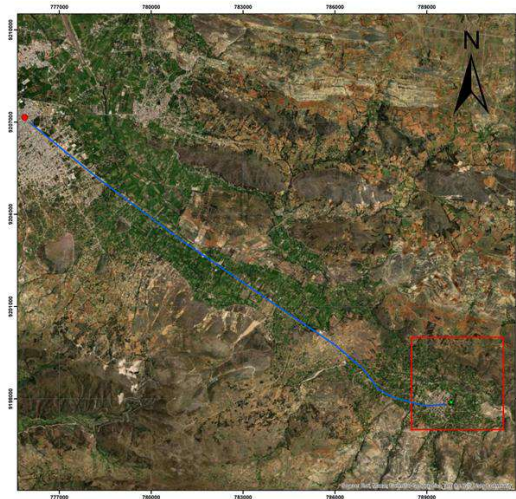


Fig.1 Mapa de ubicación del distrito de Jesús

E. Accesibilidad

Para visitar el área de estudio se toma como punto de partida a ciudad de Cajamarca, mediante una vía asfaltada hasta el distrito de Jesús y con algunas trochas carrozables que rodean la ciudad

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Geología Regional

Formación Chulec (Ki-chu): C Esta formación consiste en una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento.

Formación Carhuaz (Ki-ca): Consta de una potencia de 500 m compuesta de areniscas y arcillitas sobre la formación Santa; por debajo de la formación Farrat, o en los extremos suroccidentales bajo las calizas de la formación Pariahuanca..

Depósito Aluvial constituida por cantos, guijarros, grava, gravilla y arena fina y limos-arcillas, siendo la característica principal de dichos sedimentos.

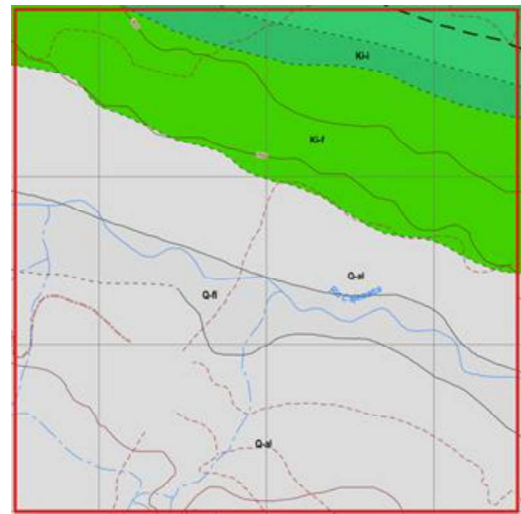


Fig2. Mapa geológico del área de estudio

Se halló el valor total de los factores condicionantes y desencadenantes. En este caso hallamos el valor total de los Factores Condicionantes, mediante:

$$V.T = VCE * VC + VCE * VC + VCE * VC + VCE * VC$$

Tabla I

Factores condicionantes

Descriptores	Evaluación de Factores Condicionantes								
	Cobertura Vegetal		Geomorfología		Pendientes		Litología		VALOR TOTAL
	VCE	VC	VCE	VC	VCE	VC	VCE	VC	
TALUD 2	0.057	0.263	0.122	0.262	0.263	0.503	0.558	0.047	0.205

:En la tabla se muestra los resultados de la evaluación de los factores condicionantes de las estaciones, donde halla el valor total de los descriptores

Por otro lado, la evaluación de Factores Desencadenantes es un solo parámetro, por lo que se considera lo que hallamos en campo como valor total.

Tabla II

Factores desencadenantes

Descriptores	Evaluación de Factores Desencadenantes	
	Precipitaciones Pluviales	VALOR TOTAL
TALUD 2	MUY ALTA (> a 250 mm)	0.482

Tabla 2: En la tabla se muestra los resultados de la evaluación de los factores desencadenantes de las Estaciones, donde se considera como valor total a lo encontrado en campo

Luego de haber obtenido los valores totales de ambos factores, hallaremos la susceptibilidad, la cual se considera el peso ponderado para evaluar es de 0.5 para cada factor

Tabla 3
Valor de la susceptibilidad

FACTORES	SUSCEPTIBILIDAD				VALOR TOTAL
	Factores Condicionantes		Factores Desencadenantes		
	VALOR	PESO	VALOR	PESO	
TALUD 2	0.205	0.5	0.482	0.5	0.343

Para medir el valor total de la Susceptibilidad de cada talud, observando que el valor total de la susceptibilidad en la Estación 1 es de 0.3435.

Ahora se evaluará el nivel de susceptibilidad mediante la matriz la cual está dividida en rangos.

Tabla IV
Nivel de susceptibilidad

NIVEL	RANGO
Susceptibilidad Muy Alto	0.400 – 500
<u>Susceptibilidad Alto</u>	0.300 – 0.400
Susceptibilidad Medio	0.200 – 0.300
<u>Susceptibilidad Bajo</u>	0.100 – 0.200

En la tabla se muestra encerrado de color morado el resultado en la matriz, la estación 2 se encuentra con un nivel de susceptibilidad Alto por lo que el rango oscila en 0.300 a 0.400; y en la evaluación de esto obtuvimos como resultado 0.433.

A continuación se muestra el mapa de susceptibilidad en la que se puede apreciar las zonas de susceptibilidad baja, media, alta y muy alta en el área de estudio

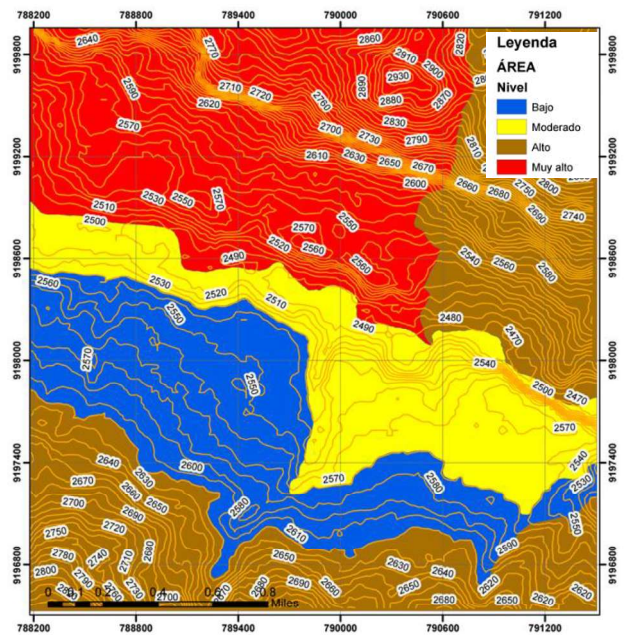


Fig. 3 Mapa de susceptibilidad en el distrito de Jesús

Para el coeficiente de rugosidad se empleó el peine de Barton, evidenciando una amplitud de 5.2 mm, en el cual nos resulta un valor JRC de 8.

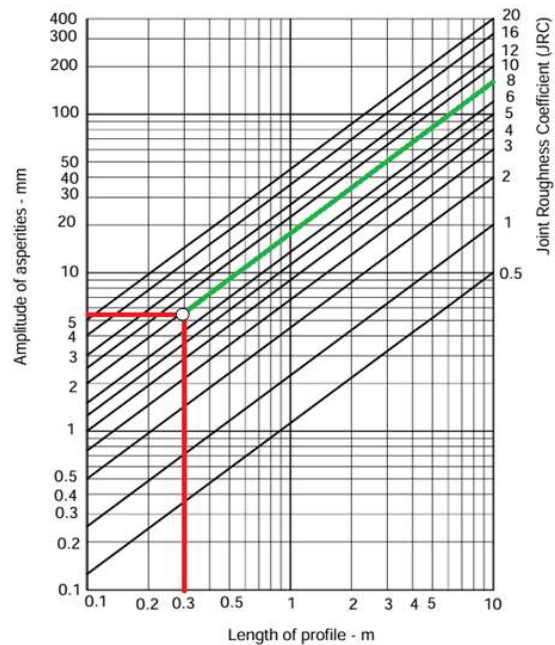


Fig. 4 Estimación de JRC

La resistencia a la compresión simple se obtuvo mediante la utilización del martillo de schmid en el plano de fractura, la cual reportó un valor de rebote de 55, calculando así un UCS de 193 MPa

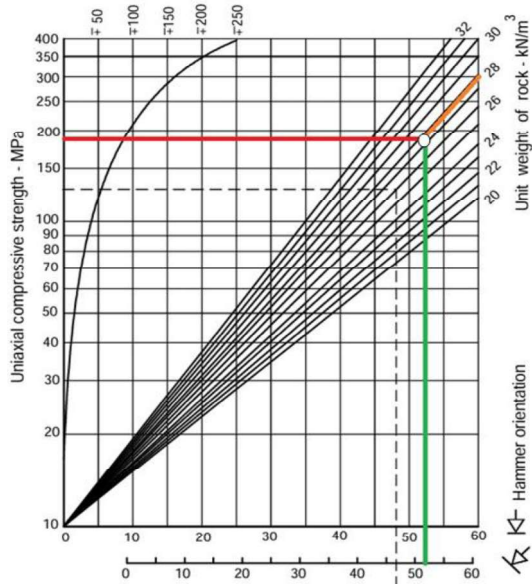


Fig. 5 Estimación de la resistencia a la compresión.

Según los resultados de laboratorio mediante un ensayo de corte directo se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros de cohesión y fricción

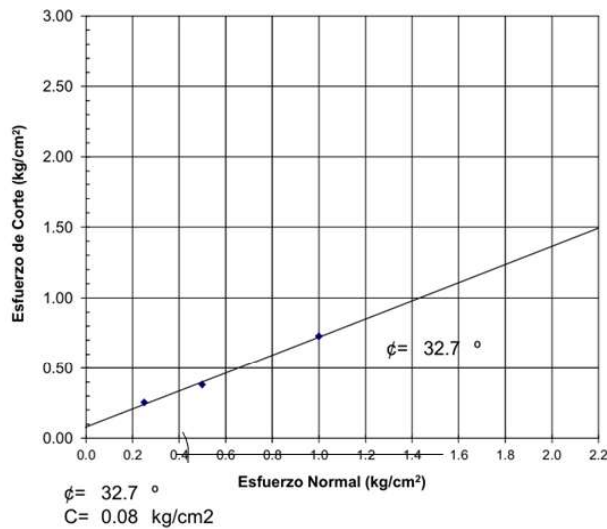


Fig. 6 Parámetros de cohesión y fricción

se muestra la aplicación del esfuerzo tangencial la recta ajustada a, empleando 03 especímenes para la obtención del gráfico

Se realizó el análisis de los tipos de rotura falla planar y vuelco, con el fin de identificar posibles deslizamientos en el talud de roca

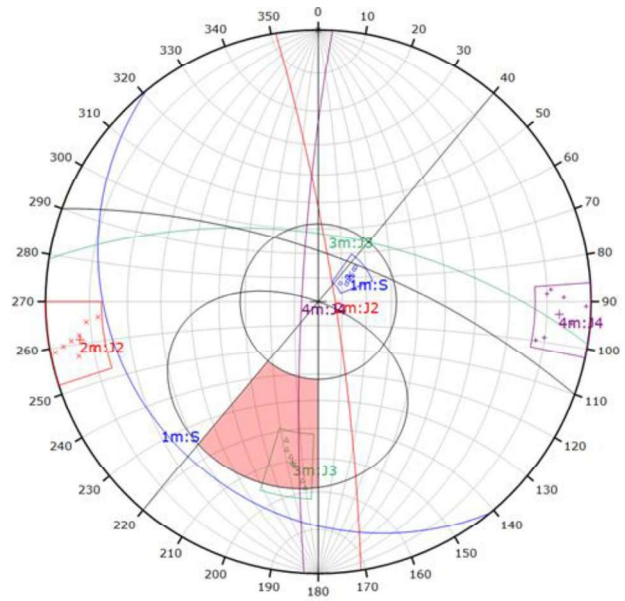


Fig. 7 Análisis cinemático de roturas planar

Se utilizó como criterio para establecer el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de ± 20 . Se aprecia que el sistema de discontinuidades J3 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar

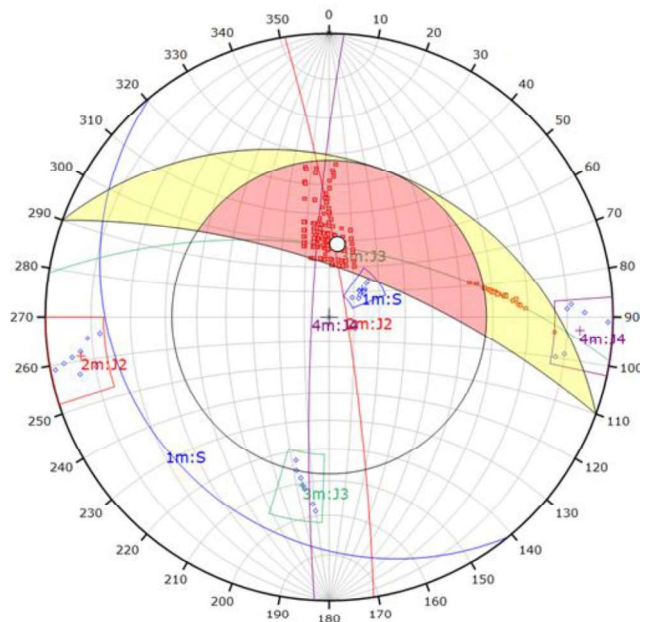


Fig. 8 Análisis cinemático de rotura en cuña

Se tuvo en cuenta como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que las intersecciones de los planos de la familia J2 y J3, J2 y J4, J3 y J4 reúnen las condiciones

geométricas y de fricción para producir una rotura en cuña

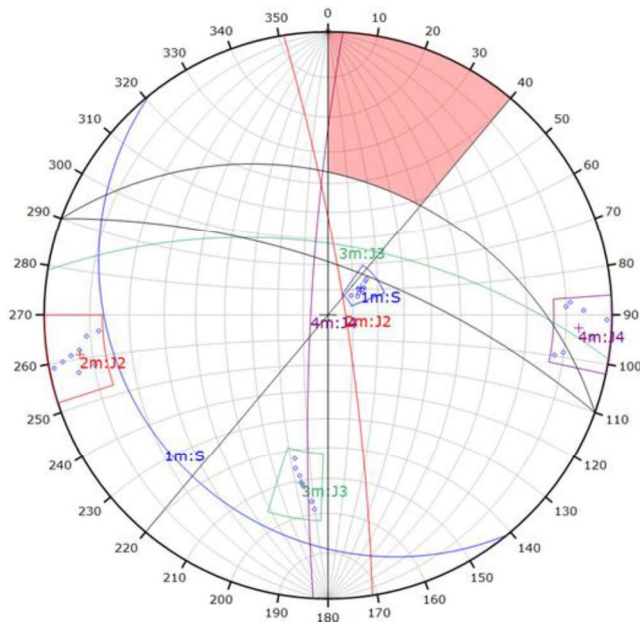


Fig. 9 Análisis cinemático falla planar

Se utilizó como criterio para definir el área crítica límites laterales de $\pm 20^\circ$, y un plano auxiliar relacionado al buzamiento y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que ninguna de las familias cumple las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura en vuelco.

Cálculo del Factor de Seguridad

Para evaluar la rotura Planar producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J3, se evaluará el factor de seguridad en condiciones Saturadas para las condiciones Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones.

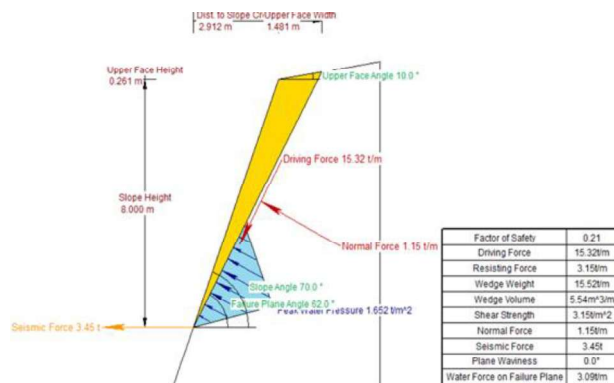


Fig. 10 Análisis de Factor de Seguridad en rotura planar

En la figura se empleó el modelo de Barton Bandis, en la que se aprecia que el talud es inestable en Pseudoestáticas y saturadas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2225, se obtiene un Factor de seguridad de 0.21 por lo cual se podría producir una falla planar en estas condiciones.

Para la rotura en Cuña se evaluó 03 Cuña evidenciadas en el software dips, la cual la es producida por el Sistema de discontinuidades de las familias J2 y J3, J2 y J4, J3 y J4, mientras que en el software Swedge se calculó el factor de seguridad en condiciones saturadas.

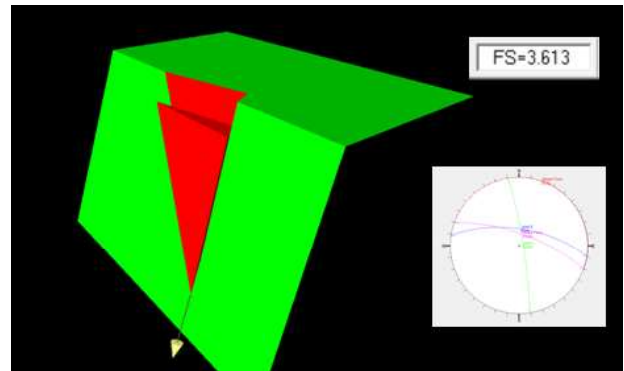


Fig. 11 Análisis del Factor de Seguridad cuña 1

La rotura entre las familias J2 y J3 por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones Pseudoestáticas y saturadas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2225, se obtiene un Factor de seguridad de 3.613, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones

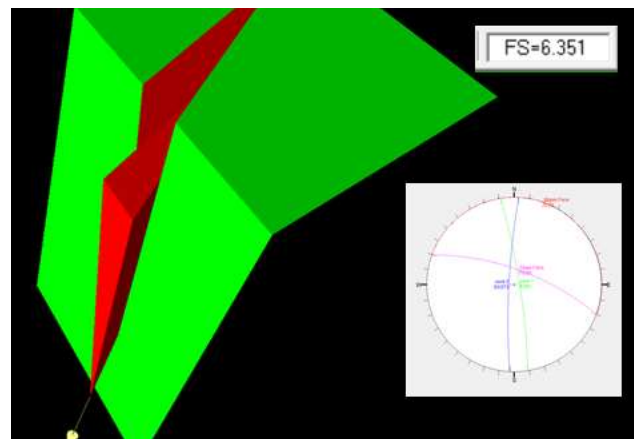


Fig.12 Análisis del Factor de Seguridad cuña 2

La rotura entre J2 y J4 por el modelo de Mohr coulomb, con un coeficiente de sismicidad de 0.2225, se obtiene un Factor de seguridad de 6.351, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones.

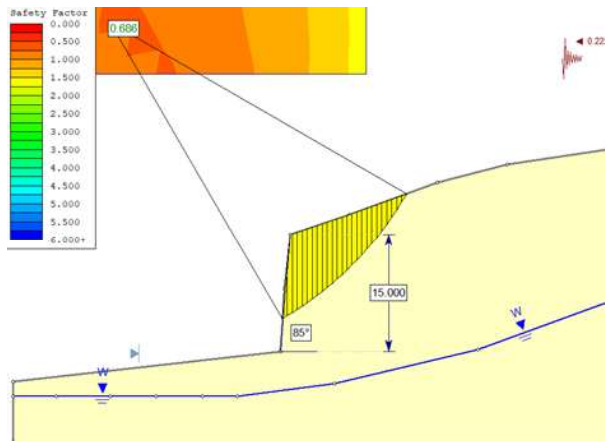


Fig. 13 Análisis del Factor de Seguridad talud 3

Se aprecia que el talud es inestable con un Factor de seguridad de 0.686 con unsismicidad horizontal de 0.2225 y un coeficiente vertical de 0

Propuesta de estabilidad

Para la mitigación se implementará obras de drenaje, la instalación de geomallas y pernos, En el presente estudio debido a la presencia de sembríos en la corona y base del talud se propuso la instalación de pernos y mallas en los taludes de suelo, ya que un cambio geométrico implicaría el deterioro y/o maltrato de los sembríos presentes en la zona la cual causaría conflictos sociales en el lugar.

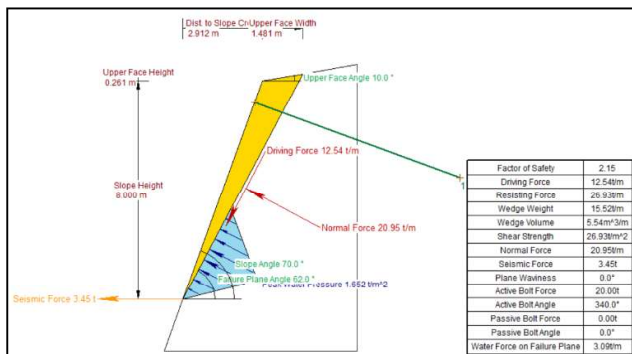


Fig. 14 Propuesta de estabilidad talud 1

Mediante la instalación de pernos se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2225 se obtiene un Factor de seguridad de 2.15 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura

planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 30% en cuanto geometría del talud se recomienda cambiar la geometría del talud con un buzamiento de 50°.

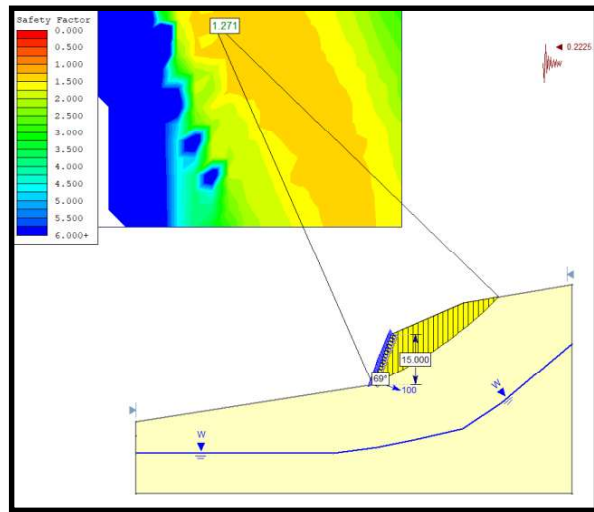


Fig. 15 Propuesta de estabilidad para el talud 2

Mediante la instalación de pernos se aprecia que el talud en condiciones saturadas y Pseudo estáticas, con un coeficiente de sismicidad de 0.2225 se obtiene un Factor de seguridad de 2.15 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones.

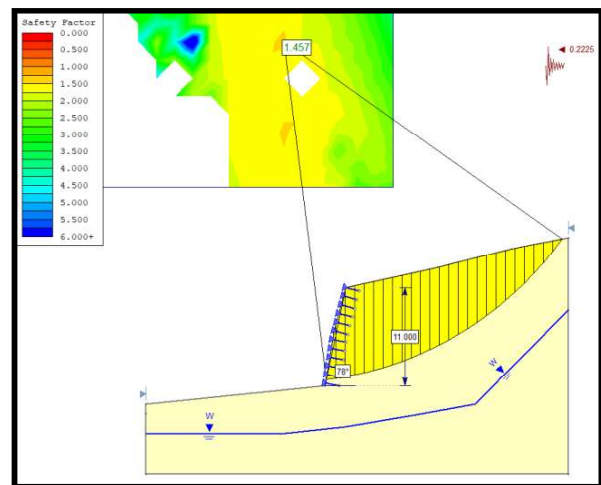


Fig. 16 propuesta de estabilidad en el talud 3

mediante el cambio de geometría e instalación de pernos y malla, por el método de Spencer, en la que se aprecia que el talud es estable con un Factor de seguridad de 1.457 para condiciones pseudo estáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2225 y un coeficiente vertical de 0.

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación respecto al objetivo general Se elaboró la propuesta de mitigación mediante la instalación de obras de drenaje, la instalación de geomalla y Pernos con medidas de 1.5 metros y la instalación de geomallas, estabilizando los taludes presente, teniendo en cuanto las zonas que presentaron una alto y muy alto de susceptibilidad de movimientos de masa, tanto para taludes en roca y suelo. La cual es respaldado por (Sarmiento, 2020), evaluó los deslizamientos que presentan alta precipitación, gran altura, y/o ausencia de vegetación, tienen un nivel de riesgo alto y deben tener prioridad de mitigación. Las medidas de mitigación que más se aplican para los factores en la categoría de Características del talud son la instalación de pernos y/o micropilotes y geomalla, además se aplicaron otras medidas recubrimiento superficial del talud como vegetación y control de aguas superficiales y subterráneas.

Al determinar la susceptibilidad del área de estudio según los descriptores de litología, pendiente, tipo de roca, vegetación, geoformas y considerando los valores de las ponderaciones en donde la estación 1 una susceptibilidad alta 0.433, la estación 02 y 03 susceptibilidades 0.483 y 0.443, categorizándose como susceptibilidad muy alta y la estación 4 una susceptibilidad moderada de 0.29, el mismo que permitió obtener el mapa de susceptibilidad para el área de estudio.. Estos datos son coherentes y respaldados con los de Montenegro (2021), los cuales estimaron la susceptibilidad de cada talud mediante el Proceso de Análisis Jerárquico, se trabajó con factores que predominan en la zona de estudio, los condicionantes como la cobertura vegetal, geomorfología, pendientes y litología, por otro lado, los desencadenantes como las precipitaciones; con estos parámetros se les diseño descriptores los cuales obtuvieron un peso ponderado que usamos para hallar la susceptibilidad de cada talud. Por ello el talud 1 con un valor de 0,483 y el talud 2 con un valor de 0,423

Para los parámetros de resistencia del material geológico, en el talud de roca el Valor de UCS es de 195 MPA para número de rebote de 55 empleando el martillo de schmid y un valor de coeficiente de rugosidad JRC de 8 para una amplitud de 5.2mm empleando el peine de Barton. Para el talud de suelo se realizó un ensayo de corte directo obteniendo los parámetros para el criterio de Mohr coulomb, una cohesión de 0.28 Kg/cm² y un ángulo de fricción de 32.7°. Por otro lado, de forma concordante Loayza (2023) obtuvo como resultados un rebote promedio de 52 con el martillo de schmid, un JRC de 6 con el peine de Barton para las familias críticas y una resistencia a la compresión Uniaxial promedio de 177. En tal sentido se corrobora que el Método de Barton Bandis, es un método confiable para el cálculo del factor de seguridad.

V. CONCLUSIONES

La susceptibilidad del área de estudio según los descriptores de litología, pendiente, tipo de roca, vegetación, geoformas y considerando los valores de las ponderaciones en donde la estación 1 una susceptibilidad alta 0.433, la estación 02 y 03 susceptibilidades 0.483 y 0.443, categorizándose como susceptibilidad muy alta y la estación 4 una susceptibilidad moderada de 0.29, el mismo que permitió obtener el mapa de susceptibilidad para el área de estudio

Los parámetros de resistencia del material geológico, en el talud de roca el Valor de UCS es de 195 MPA para número de rebote de 55 empleando el martillo de schmid y un valor de coeficiente de rugosidad JRC de 8 para una amplitud de 5.2mm empleando el peine de Barton. Para el talud de suelo se realizo un ensayo de corte directo obteniendo los parámetros para el criterio de Mohr coulomb, una cohesión de 0.28 Kg/cm² y un ángulo de fricción de 32.7°

El factor de seguridad teniendo un valor para el talud 1 de roca de 1.15 en condiciones estáticas y 0.66 en condiciones Pseudo estáticas; para los taludes de suelo se tuvo factores de seguridad de

0.878 para el talud 2 , un valor de 0.987 para el talud 3 y un valor de 0.823 en el criterio pseudo estático para el talud 4. Se obtuvo el SMR con una puntuación de 52.72, con un grado de estabilidad de parcialmente estable y con recomendaciones de sostenimiento de clase IIIa, la puntuación para el RMR básico fue de 57.

La propuesta de mitigación en los taludes el cual elevó los factores de seguridad a la condición de estable mediante la instalación de pernos, geomalla, obras de drenaje y cambio geométrico, el talud en roca elevó su factor de seguridad a 2.15 frente a un fallamiento planar; mientras que los taludes de suelo de la estación 2,3 y 4 elevaron su cociente de seguridad a valores de 1.731, 1.782 y 2.068 respectivamente; garantizando así la completa estabilidad del talud frente a deslizamientos que pueden afectar a los pobladores de la zona.

REFERENCIAS

- [1] Aristizábal, J. y Ospina, A.. (2019). Evaluación de la amenaza por movimientos en masa detonados por lluvias para una región de los Andes colombianos estimando la probabilidad espacial, temporal, y magnitud. *Boletín de Geología*, 86
- [2] Bernal, L. (2019) Cálculo de la Susceptibilidad por movimientos en masa en el Municipio de San Luis de Cubarral utilizando un análisis discriminante Universidad militar Nueva Granda. Colombia. Recuperado de
- [3] Benites, F. (2013). Evaluación de la Susceptibilidad a Movimientos en Masa en la Zona Central de la Cuenca del Río Mantaro – Region Junín. Lima, Perú. Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de:
- [4] Carcaus, P. U. (2021). Evaluación de riesgos geológicos de la microcuenca Llavini, Puno. Universidad Nacional del Altiplano
- [5] Canto C. y Alva D.. (2021). Caracterización geomorfológica y zonas con riesgo por movimientos de masa en el distrito de Llacanora, Cajamarca-2020.
- [6] CENEPRED (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Recuperado de: https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- [7] Gámez A., Daza, Vela, & Rojas Martínez. (4 de Mayo de 2017). Obtenido de <https://www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo/codigo=6579722>
- [8] Loayza. J. (2024). Análisis de estabilidad de taludes en el macizo rocoso Quellorco mediante el método de elementos finitos, equilibrio limite, probabilístico y propuesta de estabilización - Puno
- [9] Montenegro D.. (2022). Áreas susceptibles a movimientos en masa en la subcuenca Pachacoto, distrito de Cátaç, provincia de Recuay, región Áncash
- [10] Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2020). Evaluación de peligros geológicos del centro arqueológico de Chavín de Huántar. Distrito Chavín de Huántar, provincia Huari, departamento Áncash.
- [11] Murck, H. (2019). Vulnerabilidad del poblado de cajamarquilla ante los movimientos en masa. Distrito de Lurigancho - Chosica. Lima..
- [12] Paredes J. G. (2022). Análisis geomecánico para determinar los factores críticos que generan la inestabilidad de los taludes, en las progresivas Km6+000 – Km8+000 de la carretera Chilete – San Pablo, 2022
- [13] Tarazona, J. (2018). Estimación del Riesgo por Movimientos en Masa en a Subcuenca del Río Ancash - Yungay 2016. Ancash, Perú. Título Profesional De Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”. Repositorio Alicia.
- [14] Pérez, J., Gómez, A., & Ramírez, L. (2022). Evaluación de la susceptibilidad a deslizamientos utilizando modelos de aprendizaje automático: Un estudio de caso en la región andina. *Geomorphology*, 390, 107890. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.107890>
- [15] Martínez, F., & Torres, M. (2021). Impacto del cambio climático en la frecuencia de movimientos de masas en zonas montañosas. *Engineering Geology*, 293, 106570. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106570>
- [16] Sánchez, R., & López, D. (2020). Análisis de la estabilidad de taludes en suelos tropicales: Métodos y aplicaciones. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 106328. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106328>
- [17] Velasco Herrera, H. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Invest.*, n.92 [citado 2024-10-14]. Recuperad de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112017000100011&lng=es&nrm=iso. ISSN 2448-7279. (México),
- [18] Zamalloa, M. y Medina, L. (2019). Estudio de Riesgo Geológico por Movimientos en Masa, para la Construcción del Puesto de Salud de Huayllati, del Distrito de Huayllati, Provincia de Grau, Región Apurímac. Perú. Título profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Recuperado de: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4128>
- [19] Zavala, B., Gómez, j. c., & Luz león, s. (2010). susceptibilidad a movimientos en masa en Cajamarca y el deslizamiento de rodeopampa del 22 de febrero del 2010. 1093.
- [20] Ingemet. (2016). peligros geologicos por procesos glaciares, cordillera blanca - rio santa. ingemet, 39.