

CARACTERIZACIÓN DE LA GEOHIDROLOGÍA EN EL MOVIMIENTO EN MASA DE SUELOS EN URBANIZACIÓN BELLAVISTA – ABANCAY

CHARACTERIZATION OF GEOHYDROLOGY IN THE MASS MOVEMENT OF SOILS IN URBANIZATION BELLAVISTA – ABANCAY

Franklin Aguirre Huillcas^{1*}

¹ Urbanización Bellavista, Distrito y Provincia Abancay, Departamento Apurímac.

RESUMEN

Bellavista zona de expansión urbana de la ciudad de Abancay, se ha visto afectado por el movimiento en masa de suelos. En épocas de precipitaciones pluviales se genera infiltración en el suelo con mayor intensidad en los meses de enero a marzo de cada año, el año 2012 la precipitación fue de 1012,80 mm, históricamente el más alto en los últimos 50 años. El objetivo de esta investigación fue determinar las características geohidrológicas que influyen en el movimiento en masa de suelos y el factor de seguridad. La información se recogió en su ambiente natural, se excavaron calicatas, se determinaron el tipo de suelo y sus propiedades. Para el procesamiento de datos en las diferentes etapas de la investigación se utilizó ArcMap v.10.5, AutoCAD Civil v.2016, CRUTEM4 Google Earth, Global Mapper v.19, Rocscience (Slide v.6.0), jamovi y IBM SPSS v.28. Los resultados demostraron la inexistencia de rocas, sin embargo, la infiltración de las aguas pluviales en el suelo influye en el movimiento en masa de suelos y origina factor de seguridad de 0,976 menor que 1. Se concluye que no existe infiltración de las aguas pluviales en las rocas, la zona constituye de depósitos cuaternarios donde predomina suelo limo – arcilloso (capa superior) y grava – bolonería (capa inferior). La capa superior es infiltrada y genera una carga distribuida de 6,56 kN/m², carga que influye en el movimiento en masa y el factor de seguridad. Los daños ocasionados a las infraestructuras de viviendas y viales exponen el movimiento en masa de suelos.

Palabras clave: Geohidrología, infiltración, movimiento, precipitaciones, suelos.

ABSTRACT

Bellavista, an area of urban expansion in the city of Abancay, has been affected by mass soil movement. In times of rainfall, infiltration is generated in the soil with greater intensity in the months of January to March of each year; in 2012, rainfall was 1012.80 mm, historically the highest in the last 50 years. The purpose of this research was to determine the geohydrologic characteristics that influence the mass movement of soil and the factor of safety. The information was collected in its natural environment, soil pits were excavated, soil type and its properties were determined, for data processing in the different stages of the research the software programs ArcMap v10.5, AutoCAD Civil v.2016, CRUTEM4 Google Earth, Global Mapper v.19, Rocscience (Slide v.6.0), jamovi and IBM SPSS v.28 were used. These results showed the absence of rocks, however, the infiltration of rainwater into the soil influences the mass movement of soils and results in a factor of safety of 0.976 less than 1. The conclusion is that there is no infiltration of rainwater into the rocks; the area is made up of quaternary deposits where silt-clay soil predominates (upper layer) and gravel-boulder soil (lower layer); the upper layer is infiltrated and generates a distributed load of 6.56 kN/m², a load that influences the mass movement and the safety factor. Damage to housing and road infrastructure exposes the mass movement of soils.

Key words: Geohydrology, infiltration, movement, rainfall, soils.

*Autor para correspondencia: faguirrehuillcas1@gmail.com

ORCID: [0000-0001-6220-8390](https://orcid.org/0000-0001-6220-8390)

Downloadable from : <http://revistas.unap.edu.pe/epg>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



INTRODUCCIÓN

En diversas partes del mundo los desastres asociados al movimiento en masa generan impactos negativos en el ámbito socioeconómico y ambiental. Además de las pérdidas de vidas, daño a la cubierta vegetal, afectaciones a las viviendas y infraestructuras son frecuentes (Galindo & Alcántara 2015) y pueden tener diversas causas, los terremotos, la degradación del permafrost, los incendios forestales y una de las causas principales son las intensas precipitaciones pluviales de la temporada (Geertsema & Chiarle 2013; García *et al.* 2018).

La geología y otras características estructurales de las rocas influyen fuertemente y correlacionan la capacidad de almacenamiento de las aguas pluviales y la transmisividad de los acuíferos (Ariyo *et al.* 2011), como la acción del agua en el sistema de poros o juntas de los suelos y las rocas influye en la interacción de las partículas (Dikau 2013). Se ha demostrado que el tamaño de las rocas en las superficies están directamente relacionados con la infiltración, las rocas más pequeñas disminuyen y las rocas más grandes aumentan (Brakensiek & Rawls 1994).

La textura, la estructura y la cantidad de materia orgánica en el suelo influyen en el movimiento del agua en el suelo (infiltración y percolación) y determinan la capacidad de retención del agua (Quiring *et al.* 2015), que está influenciada por la cubierta vegetal, según el tipo de uso de la tierra, tiende a ser menor en las áreas bajo suelo desnudo que en aquellas bajo sistemas de conservación del suelo (Sampaio de Almeida *et al.* 2018). El uso de la tierra afecta significativamente a la variación espacial de las características de infiltración (Zhipeng *et al.* 2018) y los cambios en el ángulo de pendiente pueden ser un factor desencadenante de masas (Claessens *et al.* 2013).

El aumento gradual y la duración de las precipitaciones harán que la pendiente evolucione hacia un estado inestable (Zhang *et al.* 2020), siendo las condiciones presentes en

la superficie del suelo determinan en gran medida si las precipitaciones entran en el suelo o se escurren sobre la superficie del suelo (Buol *et al.* 2011). El contenido de limo, arena, materia orgánica del suelo, la densidad de la hojarasca vegetal y la densidad de la masa radicular son los principales factores que influyen en las propiedades de infiltración del suelo (Zhu *et al.* 2020), sin embargo, la capacidad de infiltración en el suelo decrece con el tiempo, a partir de un máximo al inicio de la lluvia (Schulz & García 2018).

La capacidad de infiltración de la superficie influye en que se produzca una escorrentía superficial o un flujo subterráneo en respuesta a la precipitación (Wohl 2015), las precipitaciones exceden la capacidad de infiltración del suelo e inducen una saturación de agua estacional o permanente dentro del perfil del suelo (Perdrial *et al.* 2015). Los acuíferos se recargan básicamente a partir de la infiltración de agua de lluvia que se precipita sobre los flancos (Lesser *et al.* 2015), la recarga por infiltración del agua de lluvia es un proceso que se reconoce en todos los subambientes pese a las diferencias de permeabilidad entre estos (Melo 2019).

La inundación es un tipo de peligro geohidrológico cuya ocurrencia está relacionada a las intensas precipitaciones pluviales, así como la geomorfología y pendiente local (Medina & Gonzales 2018; Borga *et al.* 2014), dentro de estos peligros tenemos las inundaciones y el movimiento de masas sobre todo en épocas de intensas y prolongadas lluvias. En términos generales los movimientos en masa son el resultado de diversos factores geomorfológicos, geológicos, geohidrológicos e hidrológicos, y que predisponen a las laderas hacia la inestabilidad.

Según INDECI (2011) el movimiento en masa es el resultado de la interacción de factores condicionantes (geológicos y geomorfológicos) y factores desencadenantes (fenómenos de origen natural, fenómenos tecnológicos o inducidos por el ser humano, meteorización física y meteorización química). Salinas *et al.*

(2017) manifiestan que se caracterizan por el desplazamiento descendente de masas de roca, suelo o detritos. Guthrie (2013) define los siguientes tipos de movimientos de masas: caída, derrumbe, deslizamiento, flujo, propagación y arrastre.

Los desastres geológicos en Hiroshima se generaron como consecuencia de las lluvias torrenciales, el daño se vio reforzado por la ocurrencia simultánea de varios desastres, incluyendo flujos de escombros, fallas de taludes, erosión e inundaciones (Hashimoto *et al.* 2020). La precordillera andina del extremo norte de Chile está expuesta a fenómenos naturales como sismos y lluvias intensas, fenómenos que pueden producir movimiento en masa (Rodríguez *et al.* 2014). Los eventos de remoción en masa están asociados a nivel temporal (Trujillo *et al.* 2015). La precipitación concentrada en un tiempo menor a 4 horas sería el umbral crítico de desestabilización, con intensidades del orden de 26,5 mm (López 2015).

Las zonas de mayor susceptibilidad a los movimientos en masa en el Perú se localizan: 1) Al oeste, Cajamarca – La Libertad – Ancash – Lima – Huancavelica; 2) Ayacucho – Apurímac – Cusco – Puno, en el lado suroriental; 3) Arequipa – Moquegua – Tacna, en el lado suroccidental; 4) Junín – Pasco – Huánuco – San Martín, en la región central y nororiental; 5) otras franjas menores (Villacorta *et al.* 2012).

En la investigación Peligro por deslizamientos en el sector Matarani (Tacna) se determinó que los sectores Matarani y Quilahuani se encuentran en una zona de alto peligro, porque están ubicados sobre cuerpos de deslizamiento (Soncco & Manrique 2018). Los peligros geológicos en la Región Cusco, se identificaron y describieron las zonas de alto grado de peligro, la exposición de los elementos involucrados y su vulnerabilidad, que representan los procesos geológicos en el espacio (Vilchez 2015).

Al realizar una evaluación técnica en el deslizamiento de Lutto (Chumbivilcas –Cusco)

se determinó que las causas principales para la ocurrencia del movimiento en masa son las intensas precipitaciones pluviales de la temporada (García *et al.* 2018). Los movimientos en masa detonados por lluvia son una amenaza que cobra el mayor número de víctimas anuales en terrenos montañosos y ambientes tropicales (Aristizábal *et al.* 2019), son una de las principales causas de pérdidas económicas y humanas alrededor del mundo (Jiménez & Aristizábal 2018).

Los resultados del inventario de peligros geológicos y el análisis de susceptibilidades por movimiento en masa en la Región Apurímac, registraron al 2012 un total de 849 peligros geológicos y 32 zonas críticas por estos procesos (Villacorta *et al.* 2013). Las provincias que presentan riesgo en un nivel muy alto son Abancay, Antabamba, Aymaraes, Chincheros, Grau y Cotabambas. Gran parte de la cuenca del río Mariño (Abancay) es altamente susceptible a la generación de movimientos en masa (Villacorta *et al.* 2016a).

La zona montañosa de la ciudad de Abancay presenta fuertes pendientes con afloramientos rocosos, las laderas se encuentran cubiertas de vegetación; se observa una variedad de formas gravitacionales producto de los grandes deslizamientos (Villacorta *et al.* 2019), debido a las constantes lluvias, en algunos casos, extremas; generan diversos fenómenos geohidrológicos que afectan a la ciudad de Abancay y poblados aledaños (Borga *et al.* 2014; Villacorta *et al.* 2016a), entre los deslizamientos más relevantes se cuentan los de Ccocha – Pumarana, el cerro Chuyllurpata, quebrada Sahuanay (Villacorta *et al.* 2019).

La precipitación pluvial promedio anual de Abancay es de 589 mm, los meses de octubre a marzo corresponden al periodo de lluvias, el mes más lluvioso es febrero con una precipitación promedio de 113 mm/mes; los meses poco lluviosos son de abril a setiembre (Condori & Peña 2016). La elevada precipitación pluvial genera infiltración en el sub suelo volviendo inestable los terrenos, así

por ejemplo, la avalancha del cerro Chuyllurpata (Villacorta *et al.* 2016a). Las recargas de los acuíferos se producen de las lluvias, donde un porcentaje se infiltra en los espacios vacíos de rocas (fracturas abiertas) (Condori & Peña 2016).

En la urbanización Bellavista los depósitos coluviales procedentes de la erosión de las rocas sedimentarias arcillosas, albergan a la mayor masa de cobertura vegetal de la zona, pero su comportamiento geotécnico es malo, sensible a procesos de remoción en masa (INDECI & PNUD 2007). Toda la información referida a la geología de la urbanización Bellavista y alrededores se ha recolectado in situ dentro del área de interés y las zonas adyacentes, desarrollándose las siguientes actividades: reconocimiento de la litología, estructuras, geomorfología y fenómenos de origen climático y geológico – climático de mayor ocurrencia.

Al realizar la caracterización geodinámica de la ciudad de Abancay, los resultados indican que los macizos rocosos en Abancay presentan una calidad de regular a buena, disminuyendo esta

hacia el oeste de la cuenca del río Mariño (Luza *et al.* 2015). Actualmente, la ciudad de Abancay presenta un crecimiento poblacional desordenado, producto de la ocupación de áreas para vivienda y cultivo sin considerar las características geográficas, geodinámicas y climáticas de la zona (Villacorta *et al.* 2019).

En épocas de precipitaciones pluviales en la urbanización Bellavista, zona de expansión urbana de la ciudad de Abancay se ha visto afectado por el movimiento de masas de suelos, evento que se manifiesta en la parte superior de la urbanización. Si las predicciones del cambio climático y el calentamiento global son exactas, se esperan lluvias más intensas y extremas que pueden aumentar drásticamente el peligro de desprendimiento asociados a deslizamiento de tierra (Borgatti & Soldati 2013)

En los eventos más desastrosos ocurridos en la ciudad de Abancay y la cuenca del río Mariño, los eventos que ocurrieron en el siglo XX fueron en los años 1950 y 1997 y en el siglo XXI en los años consecutivos 2010, 2011 y 2012 (Tabla 1).

Tabla 1: Eventos más desastrosos ocurridos en la ciudad de Abancay y cuenca del río Mariño

Paraje/lugar	Evento	Peligro	Vulnerabilidad	Fecha
Limapata, Puchurcco	Deslizamiento	Alto	Alto	2010
Qda. Puyo-Huayco	Flujo	Alto	Alto	2010
Espinoza Alto	Deslizamiento	Alto	Alto	2011
Cerro Chuyllurpata	Movimiento complejo	Alto	Muy alto	1951, 2012
Ccocha Pumarana	Movimiento complejo	Muy alto	Muy alto	1997
Asillo	Deslizamiento	Alto	Alto	Abril 2012

Fuente: Villacorta *et al.* (2016).

En conclusión, podemos indicar que la ciudad de Abancay y particularmente la urbanización Bellavista es sensible a los procesos geodinámicos externos por su ubicación y la naturaleza de sus suelos, morfología, condiciones climáticas y el proceso de crecimiento desordenado de la población y la inapropiada explotación de sus recursos. Se percibe de manera recurrente, durante los meses de enero a marzo una preocupación sistemática

de sus pobladores con relación al hábitat y a los problemas de estabilización de las paredes de adobe y material noble, y además en la principal vía de acceso a la ciudad de Abancay (Panamericana); esta situación es interpretada por sus pobladores como un problema que deriva del incremento de las lluvias que generan el movimiento en masa de las laderas y de sus posibles impactos medio ambientales.

Los objetivos específicos de la investigación que se plantea son:

- Establecer la influencia de la infiltración de las precipitaciones pluviales en las rocas, en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay y b)
- Establecer la influencia de la infiltración de las precipitaciones pluviales en el suelo, en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay.

MÉTODOS

Lugar de estudio

La investigación fue realizada en la urbanización Bellavista, distrito de Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac, localizada a una altitud de 2386 m.s.n.m., latitud sur $13^{\circ}38'2,57''$ y longitud oeste $72^{\circ}53'27,88''$ a 1 km y al lado oeste de la ciudad de Abancay (Figura 1).

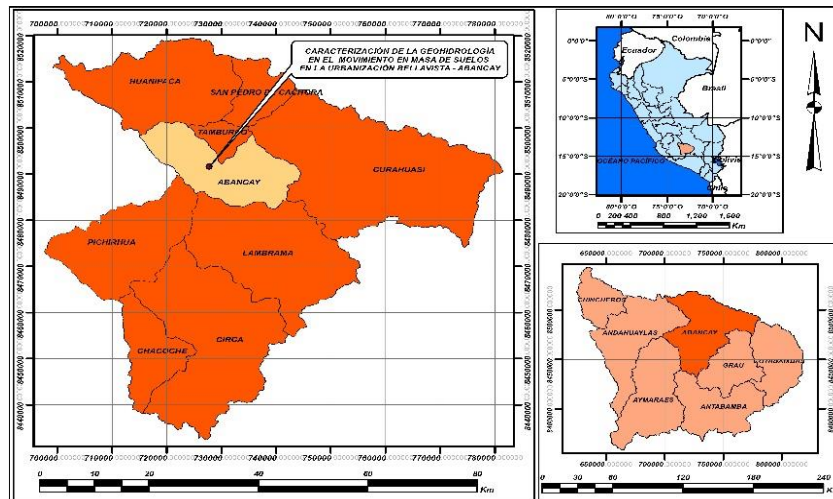


Figura 1. Ubicación y localización de la urbanización Bellavista.

Descripción de Métodos

Para cumplir con los objetivos propuestos de la investigación, se inició con los trabajos de revisión documental de los estudios previos realizados en cuanto a movimiento en masa de suelos a nivel mundial, nacional, regional y local. Específicamente se tomó la mayor cantidad posible de información contenida, antecedentes relacionados al movimiento de masas dentro del área de interés y sus alrededores.

Se recurrió a datos históricos de las precipitaciones pluviales en la provincia de Abancay, desde la década de 1970 hasta el año 2019. Los movimientos en masa se generaron en los años de mayor precipitación pluvial como en el año 1997, la precipitación anual fue de 722,7 mm, los meses de enero, febrero y marzo con mayor precipitación, que generó el movimiento complejo de Ccocha y Pumarana. En el año 2010 se produjo dos eventos el deslizamiento en sector Limapata, Puchurcco y el flujo de la quebrada Puyo – Huayco, este

año la precipitación anual fue de 654,90 mm, en los meses de enero y marzo con mayor precipitación. En el año 2011 hubo deslizamiento de Espinoza Alto, presentándose una precipitación de 832,30 mm, siendo los meses de enero, febrero y marzo con mayor precipitación. En el año 2012 se producen dos eventos, movimiento complejo del cerro Chuyllurpata y deslizamiento en Asillo, este año la precipitación fue de 1012,80 mm, históricamente el más alto en los últimos 50 años, los meses de enero, febrero y marzo con mayor precipitación.

Con la finalidad de obtener información in situ, referida al problema en estudio ha sido necesario delimitar la zona potencialmente inestable (Figura 2). Las zonas adyacentes al área de estudio presentan evidencias de reptación de suelos las cuales se manifiestan en las laderas de Moyocorral, Limapata y produjo daños importantes en las estructuras del conjunto habitacional de FONAVI (INDECI & PNUD 2007).

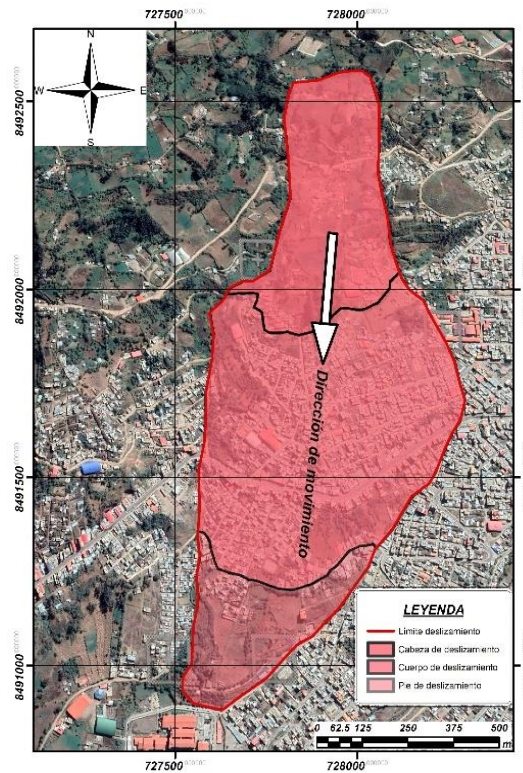


Figura 2. Delimitación de la zona potencialmente Inestable (Urb. Bellavista)

Una vez definido la zona de estudio se realizó el levantamiento topográfico del área, en una extensión de 70 ha (Figura 3). El espacio alcanza en la parte central construcción de viviendas de adobe y material noble, lotizaciones para construcciones nuevas, carreteras y la vía principal de acceso a la ciudad de Abancay; al norte y sur se aprecia zonas de vegetación natural y cultivo temporal que generalmente aprovechan las precipitaciones pluviales.

La zona de estudio comprende un área total de 70 ha, el 49,34 % (34,55 ha) constituye áreas de cultivo y vegetación natural; el 50,66 % (35,45 ha) áreas lotizadas, infraestructuras de vivienda de adobe y material noble (Figura 4). La infiltración de las aguas pluviales es más susceptible en áreas cubiertas por vegetación y áreas de cultivo.

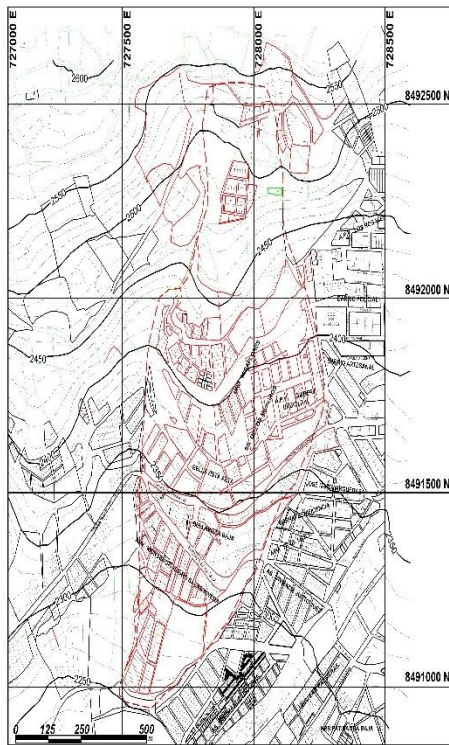


Figura 3. Levantamiento topográfico de la zona de estudio (Urbanización Bellavista).

Los meses de intensas lluvias se manifiestan en los meses de enero, febrero y marzo con mayor intensidad en febrero y hacen que se genere infiltración que reducen la cohesión y fricción de los materiales, incrementa la presión del agua en los poros y la hidrostática normal a las pendientes haciendo proclives a su desestabilización (González & Folguera 2009). La intensidad y la duración de las precipitaciones y la fluctuación de la presión atmosférica se han relacionado fuertemente con el inicio y el movimiento de masas de tierra. Las precipitaciones provocan la acumulación de presión de agua en suelo, sobrecarga adicional (Regmi *et al.* 2015).

Rodríguez *et al.* (2019) mencionan que durante el verano austral 2011 – 2012, la provincia de

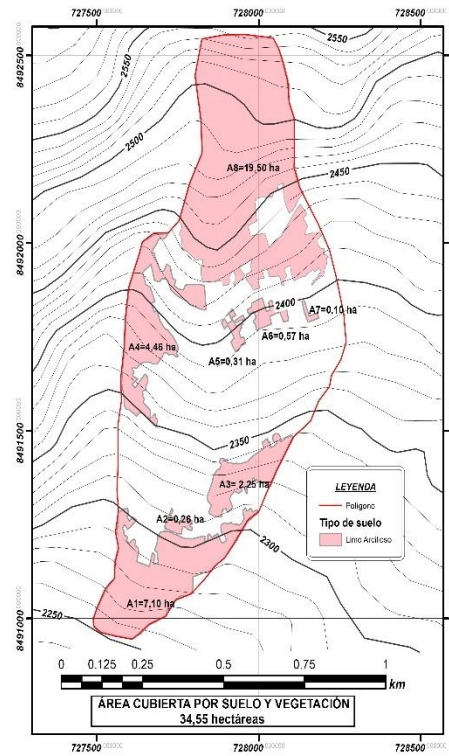


Figura 4. Área cubierta por suelo y vegetación expuestos a la infiltración.

Abancay experimentó unas precipitaciones sin precedentes. El 18 de marzo del 2012 se desencadenó un gran flujo de escombros en la parte alta de la quebrada Sahuanay. Los umbrales de lluvia expresan los niveles mínimos de lluvia que deben alcanzarse o superarse para que ocurran deslizamientos de tierras en un área en particular (Martinović *et al.* 2018).

El periodo en la que ocurrieron los eventos más desastrosos en la ciudad de Abancay y cuenca del río Mariño como consecuencia de las precipitaciones pluviales datan del año 1951 hasta el último evento ocurrido el año 2012 (Tabla 2).

Tabla 2. Precipitaciones pluviales en el periodo que ocurrieron eventos desastrosos en la ciudad de Abancay y la cuenca del río Mariño.

Año	Meses												Anual mm
	en.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ag.	set.	oct.	nov.	dic.	
1951	136,0	113,0	112,8	13,2	0	0	0	0	3,5	9,2	88,0	66,2	542,4
1997	171,6	136,8	115,3	21,4	18,4	0	0	19,3	4,8	14,3	91,4	129,6	722,7
2010	175,5	91,2	114,6	35,5	7,1	0	1,8	4,6	9,9	43	58,7	113,0	654,9
2011	145,9	185,7	152,4	52,2	5,4	1,5	6,8	18,6	33,4	37,2	90,4	102,8	832,3
2012	135,7	240,1	209,5	69,0	0	5,6	7	1,4	17,1	57,0	36,8	233,6	1012,8

Fuente: SENAMHI (2021).

Para determinar la influencia de la infiltración de las precipitaciones pluviales en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista, se inició con la referencia de la geología regional que según Valdivia & la Torre (2003) en el valle de Abancay se diferencia dos tipos de depósitos cuaternarios (Figura 5), los **depósitos aluviales**

(Qh-al) están conformados por grandes bloques de rocas y gravas subangulosas a subredondeadas envueltos por una matriz areno – limosa. **Depósitos coluviales** (Qh-co) depósitos compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables envueltos en una matriz areno arcillosa.

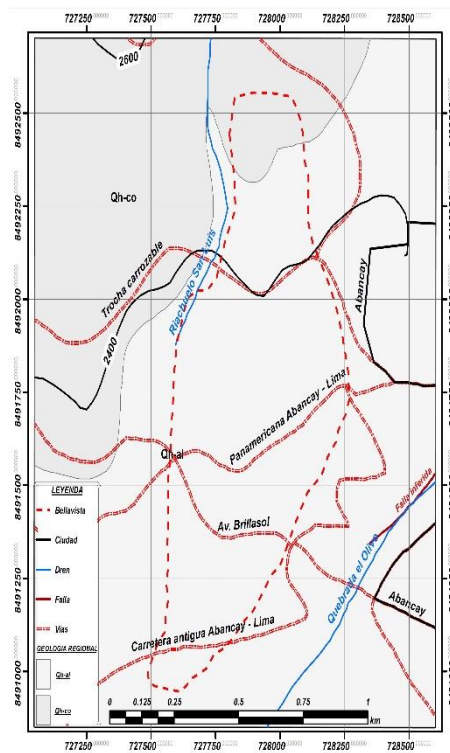


Figura 5. Geología regional del valle de Abancay

Se determinó la geología local realizando el mapeo, procediendo a describir los cortes naturales y artificiales que se encuentran visibles en la urbanización Bellavista. No se ubicó zonas con afloramiento de rocas, por lo

que se deduce que la infiltración de las precipitaciones pluviales en las rocas es nula y no influye en el movimiento en masa de suelos, por lo que se prescinde de esta posibilidad.

La urbanización Bellavista presenta depósitos cuaternarios donde predomina el limo – arcilla de color rojizo y mayor plasticidad, la misma yace sobre la capa de grava y bolonería (Figura

6). El tipo de suelo grava y bolonería es de formación geológica más estable, anterior al tipo de suelo limo y arcilla que es de formación más reciente.

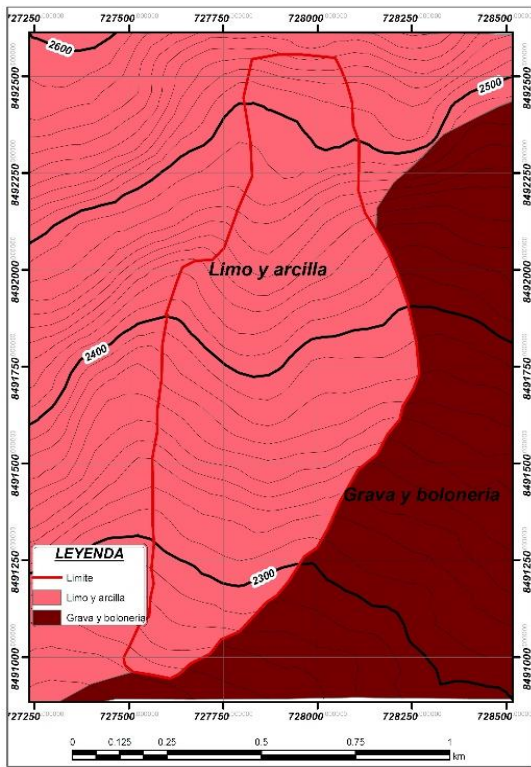


Figura 6. Geología local (Urb. Bellavista).

Los trabajos en gabinete se realizaron en base a la información obtenida en campo (excavación de calicatas) y permitieron determinar los fenómenos geohidrológicos que influyen en el movimiento en masa en la urbanización Bellavista – Abancay (Tabla 3).

Las muestras M1 y M2 (Figura 7) son el mismo tipo de suelo, sin embargo, difieren en sus propiedades por lo que ha sido necesario

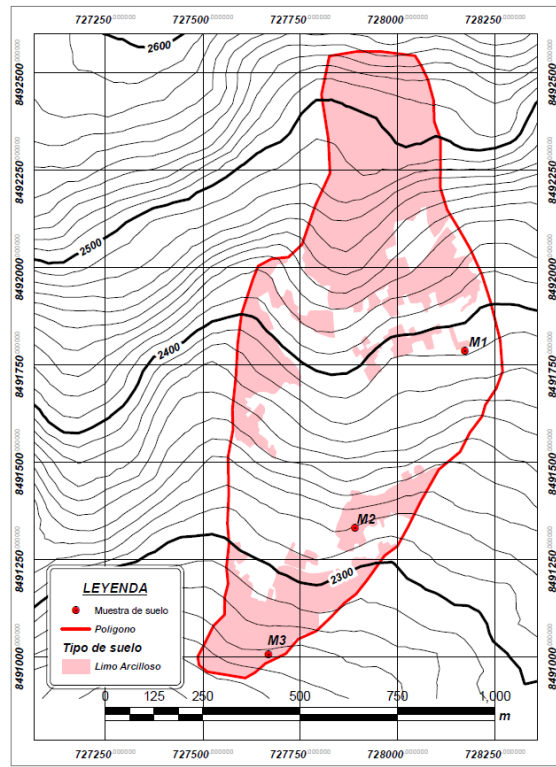


Figura 7. Ubicación de las muestras de suelo.

determinar el promedio.

Suelo limo – arcilla: cohesión (c) = 110,325 kN/m², ángulo de fricción interna (ϕ) = 35,75°, densidad (γ) = 16,819 kN/m³.

Suelo grava – bolonería: (c) = 153,964 kN/m², ángulo de fricción interna (ϕ) = 21,5°, densidad (γ) = 18,829 kN/m³

Tabla 3. Propiedades de suelos

Muestra	Coordenadas	Cohesión c (kN/m ²)	Áng. fricción ø (°)	Densidad γ (kN/m ³)	Tipo de suelo
M1	728173 E 8491784 N	96,105	36,5	17,162	Limo y arcilla
M2	727891 E 8491329 N	124,544	35,0	16,475	Limo y arcilla
M3	727668 E 8491006 N	153,964	21,50	18,829	Grava y bolonería

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos de la UNAMBA – GEOMECH.

En la investigación se hizo uso de la inteligencia artificial para ello se utilizó los siguientes softwares: ArcMap v10.5, AutoCAD Civil 3D V2016, CRUTEM4 Google Earth, Goblal Mapper v19, Rocscience (Slide v6.0), jamovi y IBM SPSS v28. Laboratorio de mecánica de suelos de GEOMECH.

La presente investigación se ha realizado con la finalidad de obtener datos objetivos acerca de la caracterización de la geohidrología en la textura y la estratificación de las rocas y los suelos en el movimiento de masa de suelos y contribuir a detectar las zonas potenciales de las amenazas naturales específicamente en la amenaza por movimiento en masa de suelos, revisando y promoviendo conocimientos y capacidades requeridas para reducir las pérdidas por estos procesos, para beneficio de todos los habitantes de las zonas vulnerables. Para tal efecto las variables que intervienen en el objetivo general son las características geohidrológicas que influyen en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay, y las variables que intervienen en los objetivos específicos son la infiltración de

las precipitaciones pluviales en las rocas que influyen en el movimiento en masa de suelos y la infiltración de las precipitaciones pluviales en suelo que influyen en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay.

El modelo estadístico utilizado para evaluar el efecto de una variable sobre otra es decir la variable dependiente que es movimiento de masas de suelos en función de la variable independiente que es la infiltración de las aguas pluviales en el suelo es la regresión logística multinomial debido a que la variable respuesta o dependiente es una variable cualitativa. Para esta prueba se recurrió al software Jamovi.

El modelo de ajuste según R^2 de Nagelkerke es 0,237 lo que indica que la relación del peso de infiltración es débil, pero es significativo, es significativo el peso de la infiltración y el evento de movimiento en masa de suelos siendo el p – value de 0,039 menor a 0,05 nivel de significancia, lo que implica que el peso de la infiltración de las aguas pluviales influye en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Influencia de la infiltración de las precipitaciones pluviales en las rocas, en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay. No se ha encontrado afloramiento de rocas, pero en

los cortes de talud en la construcción de la carretera de la vía de evitamiento se puede visualizar pequeñas bolonerías con matriz de suelo limo – arcilloso de color marrón (Figura 8). Por consiguiente, no hay presencia de roca en forma significativa que influya en la infiltración de las aguas

pluviales en las rocas.



Figura 8. Corte de talud en vía evitamiento.

2. Para determinar la influencia de la infiltración de las aguas pluviales en el movimiento en masa de suelos, se ha considerado la precipitación promedio anual del año 2012 que fue de 1012,80 mm, la precipitación anual más alta de los últimos 50 años que generó una infiltración de 230948,78 m³ de agua con un peso equivalente a 2264833,89 kN, y causó movimiento complejo y deslizamiento, de peligro alto y vulnerabilidad muy alto. Debido al calentamiento global, se prevé para el futuro incremento de las precipitaciones pluviales respecto al año 2012 que provocarán eventos similares o

más catastróficos.

El suelo en la urbanización Bellavista compone del tipo limo – arcilla y vegetación que dispone de 34,55 ha (49,34 %) del área de estudio, donde la infiltración de las precipitaciones pluviales es más susceptible e inducen al deslizamiento en masa, intervienen factores como las propiedades del suelo y la pendiente del terreno que juegan un papel preponderante en el movimiento en masa del tipo reptación (Figura 9).

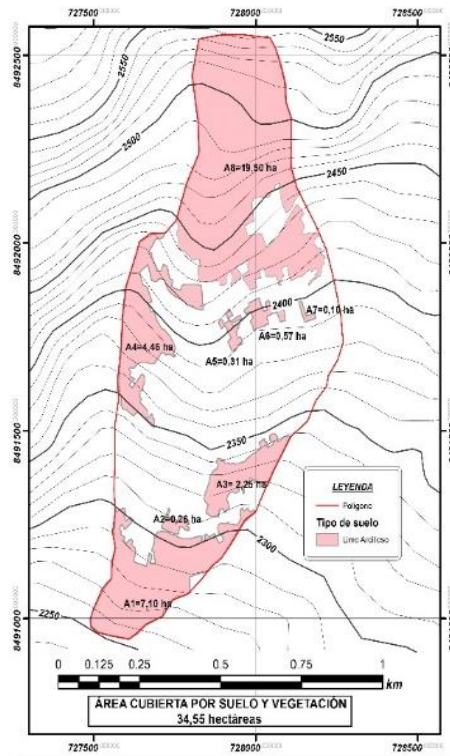


Figura 9. Área cubierta por suelo y vegetación

El desplazamiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista es del tipo de reptación por consiguiente ha sido necesario determinar el factor de seguridad. Zhang *et al.* (2020) indica que las condiciones de lluvia afectan el estado de saturación del talud durante la infiltración y afectarán aún más las características de evolución del factor de seguridad a diferentes profundidades.

La inteligencia artificial es una herramienta tecnológica, se han desarrollado e implementado en muchos campos de la ingeniería en todo el mundo. Para obtener el factor de seguridad en el movimiento en masa en la urbanización Bellavista, los diferentes procesos se realizaron empleando los siguientes softwares ArcMap v10.5, AutoCAD Civil 3D V2016, Global Mapper v19, Rocscience (Slide v6.0), y los cálculos se realizó con programa Excel y luego se modeló con el software Slide v.6, una herramienta eficaz para el análisis y

obtención del factor de seguridad en taludes y diseñar métodos de corrección de la estabilidad (Medina & Cartaya 2018). El desplazamiento de masas de suelos en la urbanización Bellavista es del tipo de reptación por consiguiente para el factor de seguridad se empleó las superficies de falla no circulares.

La carga distribuida del peso de la infiltración de las aguas pluviales es 6,56 kN/m², esta carga distribuida se utilizó para determinar el factor de seguridad. En el tipo de suelo el tipo de esfuerzo (Strength type) se consideró el Mohr – Coulomb ya que es el más recomendado para el análisis de fallas en suelos. El método utilizado para el análisis

de factor de seguridad es el método de Janbu simplificado (Janbu simplified) por ser el más riguroso que otros métodos a considerar (Tabla 6).

Tabla 6. Carga distribuida por áreas sobre precipitación pluvial, volumen, peso y carga del agua infiltrada.

Zonas	Área (m ²)	Precipitación promedio anual (mm)	Volumen de lluvia (m ³)	Volumen de infiltrado (m ³)	Peso del agua infiltrada (kgf)	Peso del agua infiltrada (kN)	Carga distribuida (kN/m ²)
Área 1	71000	1012,80	71908,80	47459,81	47459808,00	465421,73	6,56
Área 2	2600	1012,80	2633,28	1737,96	1737964,80	17043,61	6,56
Área 3	22500	1012,80	22788,00	15040,08	15040080,00	147492,80	6,56
Área 4	44600	1012,80	45170,88	29812,78	29812780,80	292363,51	6,56
Área 5	3100	1012,80	3139,68	2072,19	2072188,80	20321,23	6,56
Área 6	5700	1012,80	5772,96	3810,15	3810153,60	37364,84	6,56
Área 7	1000	1012,80	1012,80	668,45	668448,00	6555,24	6,56
Área 8	195000	1012,80	197496,00	130347,36	130347360,00	1278270,94	6,56

Como consecuencia de la infiltración de las aguas pluviales en áreas de cultivo y de pastos naturales se incluye una carga distribuida de 6,56 kN/m² y es modelado en el software Slide v.6. Los resultados revelaron un factor de seguridad 0,976 menor que 1, por consiguiente, la infiltración

influye en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista la misma que es vulnerable al movimiento en masa. Las fuertes lluvias son factores que causan los deslizamientos de tierra, la estabilidad depende de la condición geométrica, tipo de suelos, las propiedades físicas, la posición del nivel freático y el tipo de vegetación (Figura 10).

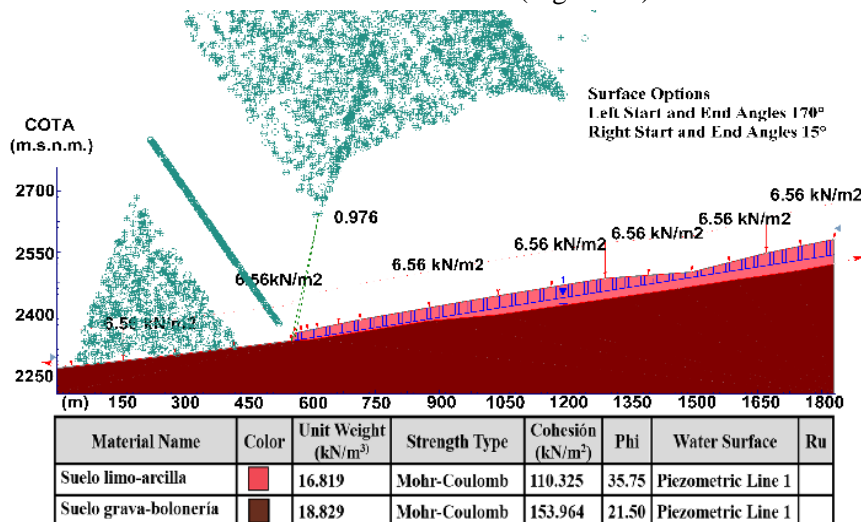


Figura 10. Factor de seguridad del movimiento en masa de la urbanización Bellavista.

El movimiento en masa es originado por las intensas precipitaciones pluviales (García *et al.* 2018; Geertsema & Chiarle 2013), son una amenaza que cobra el mayor número de víctimas anuales en terrenos montañosos y ambientes tropicales (Aristizábal *et al.*

2019). Al evaluar el estado de la actividad de los movimientos en masa, se concluye que son catalogados como reactivados y toda la zona puede interpretarse como inestable (Pilatasig *et al.* 2022). De manera análoga la urbanización Bellavista forma parte de una

extensa área muy susceptible a la ocurrencia de movimiento en masa, siendo el tipo de reptación. El fenómeno de La Niña del 2010 – 2011 produjo un incremento en la precipitaciones, como consecuencia se presentaron avenidas torrenciales y grandes deslizamientos, que forzaron la evacuación de alrededor de 200 grupos de familias (Abril González *et al.* 2016); de producirse similar ocurrencia en la urbanización Bellavista generaría daños irreparables, que afectaría a la vida de sus habitantes y las infraestructuras existentes. En la región Apurímac se han registrado al 2012 un total de 849 peligros geológicos y 32 zonas críticas (Villacorta *et al.* 2013). La exposición es variable a través del tiempo y de lugar, dado que la remoción en masa se origina en distintos lugares, sin embargo, en los años del 2010 al 2012 ha sido recurrente. Como menciona Villacorta *et al.* (2016) gran parte de la cuenca del río Mariño es altamente susceptible a la generación de movimientos en masa que son activados por la infiltración durante la época de lluvias y la mayoría de los problemas se presentan en la capa de los suelos por la infiltración de las lluvias (Luza *et al.* 2015). Los acontecimientos de los diferentes fenómenos de la remoción de masas de suelos que ocurren a nivel mundial en su mayoría es consecuencia de las intensas precipitaciones pluviales y el fenómeno de movimiento en masa en la urbanización Bellavista no es ajeno a ello. La ocurrencia del último proceso geohidrológico ocurrido el año 2012 en el cerro Chuyllurpata movilizó 3,6 millones de m³ de material que afectó a 173 viviendas, 265 damnificados y 4 fallecidos (Villacorta *et al.* 2016); un evento de movimiento en masa en la urbanización Bellavista en la actualidad sería de consecuencias muy lamentables, debido al desarrollo poblacional desordenado. Es por esto que esta investigación pone en autos a las autoridades locales y gubernamentales para que tomen las acciones

correspondientes a fin de evitar a la catástrofe que pudiese ocurrir.

CONCLUSIONES

- Las infiltraciones de las precipitaciones pluviales que se intensifican en los meses de enero, febrero y marzo influyen en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay. Los suelos son infiltrados y saturan los poros e intervienen en el movimiento en masa. Su particular comportamiento físico – mecánico a favor de una matriz compuesta por suelo limo y arcillas expansivas durante las precipitaciones intensas y una simultánea saturación, se expresa mediante un incremento de volumen y consiguiente desintegración de sus componentes y movilización por reptación bajo las condiciones de flujo denso.
- Se comprobó que la infiltración de la precipitación pluvial en las rocas no influye en el movimiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista. En la zona de estudio no hay presencia de roca, la que se confirma con el mapeo geológico local y la excavación de calicatas.
- La zona constituye depósitos cuaternarios bien definidos donde predomina el suelo limo – arcilloso (capa superior) y suelo de tipo grava – bolonería (capa inferior). El suelo limo – arcilloso es infiltrado por las precipitaciones pluviales que genera una carga distribuida de 6,56 kN/m², carga que influye en el movimiento de masas de suelos y por consiguiente en el factor de seguridad. Siendo este factor 0,976 calculado por el método de Janbu simplificado, menor que 1, por consiguiente, hay una probabilidad de deslizamiento en masa de suelos en la urbanización Bellavista – Abancay.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Ph.D. Bernardo Roque Huanca, Dra. Sofía Lourdes Benavente

Fernández y reconocimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), por haberme permitido el uso de las instalaciones de su laboratorio para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Abril N., Amaya E., Fonseca H. 2016. Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011 (Threat assessment caused by mass removal in Jericó (Boyacá), during the winter of 2011). *Ingeniería Investigación y Desarrollo*. 16(1), 6. <https://doi.org/10.19053/1900771x.5115>
- Aristizábal E., López S., Sánchez O., Vásquez M., Rincón F., Ruiz D., Restrepo S., Valencia J. 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. *Revista Boletín de Geología*. 41(3), 85-105. <https://doi.org/10.18273/revbol.v41n3-2019004>
- Ariyo S., Folorunso A., Ajibade O. 2011. Geological and geophysical evaluation of the Ajana area's groundwater potential, southwestern Nigeria. *Earth Sciences Research Journal*. 15(1), 35-40. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/39101>
- Borga M., Stoffel M., Marchi L., Marra F., Jakob M. 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*. 518(PB), 194-205. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
- Borgatti L., Soldati M. 2013. Hillslope Processes and Climate Change. *Treatise on Geomorphology*. 7(March), 306-319. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00180-9>
- Brakensiek D., Rawls W. 1994. Soil containing rock fragments: effects on infiltration. *Catena*. 23(1-2), 99-110. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90056-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90056-6)
- Claessens L., Temme A., Schoorl J. 2013. Mass-Movement Causes: Changes in Slope Angle. *Treatise on Geomorphology*. 7, 212-216. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00167-6>
- Condori E., Peña F. 2016. El agua subterránea del manantial Marcamarca - Abancay, estado actual y propuesta de mejora. *Sociedad Geológica del Perú*. 1-4. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2812>
- Dikau R. 2013. Mass-Movement Causes: Water. *Treatise on Geomorphology*. 7, 207-211. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00166-4>
- Galindo J., Alcántara I. 2015. Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: Análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*. 2015(88), 122-145. <https://doi.org/10.14350/ig.43790>
- García B., Aguilar R., Huanca J., Albinez L. 2018. Evaluación Geológica - Geodinámica al deslizamiento de Campanayocpata. Región Cusco, provincia de Chumbivilcas, distrito Llusco, centro Poblado Lutto. *INGEMMET*. 2-26. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1247>
- Geertsema M., Chiarle M. 2013. Mass-Movement Causes: Glacier Thinning. *Treatise on Geomorphology*. 7(March 2013), 217-222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00168-8>
- González E., Folguera A. 2009. Los deslizamientos de la cordillera Neuquina al sur de los 30° S: su inducción. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 64(4), 569-585. <https://revista.geologica.org.ar/raga/articulo/view/1103>
- Guthrie R. 2013. Mass-Movement Style ,

- Activity State , and Distribution. *Treatise on Geomorphology*. (Vol. 7), 230-238. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00172-X>
- Hashimoto R., Tsuchida T., Moriwaki T., Kano S. 2020. Hiroshima Prefecture geodisasters due to Western Japan Torrential rainfall in July 2018. *Soils and Foundations*. 60(1), 283-299. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.11.010>
- INDECI. 2011. Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas. *INDECI*. 1-97. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1744/doc1744.htm>
- INDECI, PNUD. 2007. Mapa de peligros de la ciudad de Abancay. CENEPRED & SIGRID (Eds.), *Instituto Nacional de Defensa Civil*. 1-300. Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres, sistema de información para la gestión del riesgo de desastres. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5217>
- Jiménez J., Aristizábal E. 2018. Propuesta metodológica para la zonificación de la susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa en proyectos lineales: Caso de estudio Tramo 2, vía Medellín - Turbo. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. 43, 14-23. <https://doi.org/10.15446/rbct.n43.64683>
- Lesser J., Sánchez F., González D. 2015. Aspectos geohidrológicos de la ciudad de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 52-61. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/644>
- Lew M. 2006. Principles: When there should be no difference - how to fail to reject the null hypothesis. *Trends in Pharmacological Sciences*. 27(5), 274-278. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2006.03.006>
- López P. 2015. Análisis de umbrales de precipitación de procesos de remoción en masa, en laderas urbanizadas de la costa de Chile centro-sur. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24(2), 93-112. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50212>
- Luza C., Villacorta S., Fluquer P., Jaimes F. 2015. Caracterización geodinámica de la ciudad de Abancay para la prevención de desastres. *INGEMMET*. 26-31. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2245>
- Martinović K., Gavin K., Reale C., Mangan C. 2018. Rainfall thresholds as a landslide indicator for engineered slopes on the Irish Rail network. *Geomorphology*. 306, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.006>
- Medina Y., Cartaya M. 2018. Uso del software Slide para el análisis del comportamiento sísmico de taludes. *Ciencia, Tecnología y Futuro*. 8(2), 1-17. https://www.researchgate.net/publication/347240940_Uso_del_software_Slide_para_el_analisis_del_comportamiento_sismico_de_taludes
- Melo M. 2019. Geohidrología de la planicie costera del Río de la Plata medio, partido de Magdalena. *Universidad Nacional de La Plata*. 1-151. <https://doi.org/10.35537/10915/73324>
- Perdrial J., Thompson A., Chorover J. 2015. Soil Geochemistry in the Critical Zone: Influence on Atmosphere, Surface- and Groundwater Composition. *Developments in Earth Surface Processes*. (Vol. 19), 173-201. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63369-9.00006-9>
- Pilatasig L., Bustillos, J., Jácome F., Mariño D. 2022. Evaluación de la Actividad de los Movimientos en Masa de Cachi Alto-Pujilí, Ecuador Mediante Monitoreo Instrumental de Bajo Costo. *Revista Politécnica*. 49(1), 19-30. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n1.02>
- Quiring S., Ford T., Yuan S. 2015. Climate of

- the Critical Zone. *Developments in Earth Surface Processes*. (Vol. 19), 79-111. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63369-9.00003-3>
- Regmi N., Giardino J., McDonald E., Vitek, J. 2015. A Review of Mass Movement Processes and Risk in the Critical Zone of Earth. *Principles and Dynamics of the Critical Zone*. 19, 319-362. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63369-9.00011-2>
- Rodríguez C., Villacorta S., Stoffel M., Ballesteros J. 2019. Assessing strategies to mitigate debris-flow risk in Abancay province, south-central Peruvian Andes. *Geomorphology* 342, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.012>
- Rodríguez A., Tapia A., Albornoz C. 2014. Susceptibilidad de Movimientos en Masa en el Valle de Socoroma, Precordillera Andina de Arica y Parinacota. *Diálogo Andino: Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*. 44, 25-39. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=371333937004>
- Salinas J., Salinas R., Montalvo J., Alva E. 2017. Inventario de movimientos en masa en el sector sur de la Saliente de Monterrey. Caso de estudio: Cañón Santa Rosa, Nuevo León, noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 34(3), 182-198 <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.459>
- Sampaio de Almeida W., Panachuki E., Sanches de Oliveira P., Menezes R., Alves T., Fonseca de Carvalho D. 2018. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*. 175(June 2017), 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.009>
- Schulz C., García F. 2018. Apuntes sobre geohidrología ambiental. *Secretaría de infraestructura y política hídrica consejo hídrico federal*. 1-214. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefin dmkaj/https://cohife.org/Geohidrologia_Ambiental.pdf
- Soncco Y., Manrique N. 2018. Peligro por deslizamiento en el sector Matarani. Región Tacna, provincia Candarave, distrito Quilahuani. *INGEMMET*. 1-28. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1929>
- Trujillo M., Ramos C., Prada S. 2015. Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. *Obras y proyectos*. 18, 63-75. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132015000200006>
- Valdivia W., Latorre O. 2003 Memoria descriptiva de la revisión y actualización cuadrángulo 28-q. *INGEMMET* . 1-30. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2074>
- Vilchez M. 2015. Zonas críticas por peligros geológicos en la región Cusco. *INGEMMET*. 1-100. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2026>
- Villacorta S., Vasquez E., Madueño M., Chumbes R. 2013. Analisis de peligros geológicos en la región Apurímac: origen, características y tratamiento. *Ministerio del Ambiente: Dirección de Investigación e Información Ambiental*. 1-7. <https://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/542>
- Villacorta S., Fidel L., Zavala B. 2012. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. *Revista de Asociación Geológica Argentina*. 69(3), 393-399. <https://revista.geologica.org.ar/raga/articulo/view/524>
- Villacorta S., Peña F., Jaimes F., Rodríguez C., Luza C., Pari, W. 2016a. Estudio integral dirigido a la evaluación de eventos geohidrológicos y cambio climático en la ciudad de Abancay (Perú). *Sociedad Geológica del Perú-SGP*. 1-6. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2754>
- Villacorta S., Peña F., Jaimes F., Sosa N., Condori E., Pari W., Luza C., Rodríguez, C. 2019. Evaluación integral de la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para

- la prevención de desastres de origen geológico y geo-hidrológico. *INGEMMET*. 71, 1-175. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2409>
- Villacorta S., Rodríguez C., Peña F., Jaimes F., Luza C. 2016. Caracterización geodinámica y dendrocronología como base para la evaluación de procesos geohidrológicos en la cuenca del río Mariño, Abancay (Perú). *Serie Correlacion Geologica*. 32(1-2), 25-42. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2310>
- Vital R., Campos M., Fraga M. 2013. The null hypothesis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 144(4), 498-499. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.08.010>
- Wohl E. 2015. Rivers in the Critical Zone. *Developments in Earth Surface Processes* (Vol. 19), 267-293. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63369-9.00009-4>
- Zhang J., Zhu D., Zhang S. 2020. Shallow slope stability evolution during rainwater infiltration considering soil cracking state. *Computers and Geotechnics* 117(July 2018), 1-12, 103285. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.103285>
- Zhipeng L., Donghao M., Wei H., Xuelin L. 2018. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. *Soil and Tillage Research*. 178(January), 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.001>
- Zhu P., Zhang G., Wang H., Xing S. 2020. Soil infiltration properties affected by typical plant communities on steep gully slopes on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*. 590(May), 1-9, 125535. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125535>