

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



TESIS PROFESIONAL

**MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN
MICROCENCA YANAMANGO – DISTRITO DE JESÚS**

**Para optar El Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:
Bach. Angela Roxana Alvarado Huaccha

Asesor:
Dr. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado

**Cajamarca - Perú
2021**

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por ser mi guía y darme la fortaleza y no desanimarme hasta concluir esta tesis.

A mi Alma Mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a mis docentes de la Escuela de Ingeniería Geológica por todos sus conocimientos compartidos.

Un agradecimiento especial a mi asesor el Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado por su dedicación y paciencia durante el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Alejandrina y Oscar, mis hermanos Jhovana, Eber, Rocío y Gualberto, quienes fueron mi mayor motivación durante cada etapa de mi vida; y por haberme apoyado económica y moralmente para la culminación de la presente tesis.

ARAH

ÍNDICE

| | Pág. |
|-------------------------|-------------|
| AGRADECIMIENTO | i |
| DEDICATORIA | ii |
| ÍNDICE | iii |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE CUADROS | vii |
| LISTA DE TABLAS | vii |
| LISTA DE FOTOS | viii |
| ABREVIATURAS | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |

CAPÍTULO I

| | |
|---------------------|----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
|---------------------|----------|

CAPÍTULO II

| | |
|----------------------|----------|
| MARCO TEÓRICO | 4 |
|----------------------|----------|

| | |
|--|-----------|
| 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 2.1.1 Antecedentes Internacionales | 4 |
| 2.1.2 Antecedentes Nacionales | 4 |
| 2.1.3 Antecedentes Locales | 4 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS | 5 |
| 2.2.1 Laderas y taludes | 5 |
| 2.2.2 Deslizamiento | 6 |
| 2.2.3 Reptación | 9 |
| 2.2.4 Factores desencadenantes | 9 |
| 2.2.5 Parámetros Geomorfológicos de Unidades Hidrográficas | 14 |
| 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 22 |

| CAPÍTULO III | | Pág. |
|-----------------------------|---|-------------|
| MATERIALES Y MÉTODOS | | 23 |
| 3.1 | UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 23 |
| 3.2 | ACCESIBILIDAD | 24 |
| 3.3 | CLIMA Y VEGETACIÓN | 24 |
| 3.4 | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 25 |
| 3.4.1 | Tipo y método de la Investigación | 25 |
| 3.4.2 | Población de Estudio | 25 |
| 3.4.3 | Muestra | 25 |
| 3.4.4 | Unidad de Análisis | 25 |
| 3.5 | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 25 |
| 3.5.1 | Técnicas | 25 |
| 3.5.2 | Instrumentos y Equipos | 26 |
| 3.6 | PROCEDIMIENTOS | 26 |
| 3.6.1 | Etapas Preliminares | 26 |
| 3.6.2 | Trabajo de Campo | 27 |
| 3.6.3 | Trabajo de Gabinete | 27 |
| 3.7 | ESTRATIGRAFÍA | 28 |
| 3.7.1 | Grupo Goyllarisquizga | 28 |
| 3.7.2 | Depósitos Cuaternarios | 30 |
| 3.8 | GEOMORFOLOGÍA | 32 |
| 3.8.1 | Unidades Morfogénicas (UM) | 32 |
| 3.8.2 | Unidades Geomorfológicas Altitudinales | 36 |
| 3.8.3 | Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca Yanamango | 37 |
| 3.8.4 | Parámetros Sísmicos | 44 |
| 3.9 | HIDROLOGÍA | 45 |
| 3.9.1 | Quebrada Andaden | 45 |
| 3.9.2 | Precipitaciones | 45 |
| 3.9.3 | Escurrimiento e infiltración | 56 |
| 3.10 | GEODINÁMICA EXTERNA | 58 |
| 3.10.1 | Factores Naturales Desencadenantes | 58 |
| 3.10.2 | Problemas de Geodinámica Externa de la Microcuenca | 58 |

| | | |
|--|--|-------------|
| CAPÍTULO IV | | Pág. |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | | 67 |
| 4.1 | INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 67 |
| 4.1.1 | Análisis de las Variables de Precipitación, Infiltración y Sismicidad | 67 |
| 4.1.2 | Análisis del Comportamiento Geodinámico | 73 |
| 4.1.3 | Tratamiento de Alternativas de Solución frente a la ocurrencia de deslizamientos. | 75 |
| 4.2 | CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS | 75 |
| CAPÍTULO V | | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 77 |
| 5.1 | CONCLUSIONES | 77 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 78 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |
| PLANOS | | |
| PLANO N° 01. | Imagen Satelital. | |
| PLANO N° 02. | Plano de Accesibilidad. | |
| PLANO N° 03. | Modelo Digital de Elevaciones. | |
| PLANO N° 04. | Plano Geológico. | |
| PLANO N° 05. | Plano de Unidades Morfogenéticas y Pendientes. | |
| PLANO N° 06. | Plano Altitudinal. | |
| PLANO N° 07. | Plano Geodinámico. | |
| ANEXOS | | |
| ANEXO 01: DATOS DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN | | 81 |
| AUGUSTO WEBERBAUER | | |
| ANEXO 02: PARÁMETROS DE SISMICIDAD SOFTWARE LOADCAP | | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 2.1 Laderas y Taludes. Fuente: Tomado de Suárez 1998. | 6 |
| Figura 2.2 Deslizamientos en suelos Blandos. Fuente: Tomado Suárez 2007 | 7 |
| Figura 2.3 Deslizamiento Rotacional Típico. | 8 |
| Figura 2.4 Deslizamiento de traslación en la Vía Tijuana. Ensenada en México. Fuente: Tomada de Suárez 1998. | 9 |
| Figura 2.5 Proceso de Saturación del Perfil del suelo. Fuente: Tomada de Suárez 2007. | 11 |
| Figura 2.6 Esquema de la circulación del agua en una ladera. Fuente: Tomado de Gonzales et al. 2004. | 12 |
| Figura 2.7 Zonas Sísmicas en el Perú y Cajamarca-Distritos. Fuente: RNE – NT E-030 Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 2006. Mod. MTC marzo - 2016. | 14 |
| Figura 3.1 Fases del Proceso de la Investigación | 27 |
| Figura 3.2 Polígono de frecuencia de Altitudes | 40 |
| Figura 3.3 Curva Hipsométrica Adimensional | 41 |
| Figura 3.4 Perfil Longitudinal | 42 |
| Figura 3.5 Pantallas Procesadas del Software LoadCap | 44 |
| Figura 4.1 Precipitación Total Anual y Precipitación Oct. – Abril. Años C. | 70 |
| Figura 4.2 Gráficas de la Precipitación Total Anual en la Microcuenca. | 71 |
| Figura 4.3 Gráficas del Promedio de Precipitación Anual Microcuenca Yanamango | 71 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 2.1 Clasificación de las Unidades Hidrográficas por el área. | 14 |
| Cuadro 2.2 Rangos aproximados de la Densidad de Drenaje. | 16 |
| Cuadro 2.3 Rangos Aproximados del Factor de Forma. | 17 |
| Cuadro 2.4 Rangos de los Valores de Compacidad. | 18 |
| Cuadro 3.1 Cálculo del Factor de Transposición de Precipitaciones. | 47 |
| Cuadro 3.2 Registro de las Precipitaciones en los años 1970 al 2019. | 48 |
| Cuadro 3.3 Balance Hidrológico de la Microcuenca Yanamango. | 57 |
| Cuadro 4.1 Análisis de Precipitación y Datos Estadísticos en la Microcuenca. | 69 |
| Cuadro 4.2 Años Críticos con Valores de Precipitación Total Anual. | 70 |
| Cuadro 4.3 Balance Hidrológico Período 1970 – 2019. | 72 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1 Coordenadas UTM – WGS84 que comprenden el área de Investigación. | 23 |
| Tabla 3.2 Clasificación para unidades Morfogenéticas (UM). | 32 |
| Tabla 3.3 Unidades Morfogenéticas en la Microcuenca. | 35 |
| Tabla 3.4 Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca Yanamango. | 43 |
| Tabla 3.5 Coordenadas de la Estación Augusto Weberbauer. | 46 |

LISTA DE FOTOS

| | | Pág. |
|-----------|---|------|
| Foto 3.1 | Vegetación de eucaliptos y sembríos de cebada. | 24 |
| Foto 3.2 | Areniscas cuarzosas fuertemente fracturadas de la Formación Chimú, aflorantes en estratos más o menos uniformes. Ubicación: E:783548 N9198829. | 28 |
| Foto 3.3 | Lutitas grises deleznable pertenecientes a la Formación Santa; aflorantes en estratos delgados. Ubicación: E: 782688 N: 9197989 | 29 |
| Foto 3.4 | Afloramiento de la Formación Carhuaz, el cual presenta areniscas de grano fino intercaladas con limolitas violetas. E:782650 N: 9197200 | 29 |
| Foto 3.5 | Afloramiento de areniscas cuarzosas de grano fino a medio; éstas se presentan en estratos de espesor variable y pertenecen a la Formación Farrat. E:783046 N: 9197100 | 30 |
| Foto 3.6 | Depósitos Aluviales conformados por gravas englobados en una matriz limo-arcillosa | 31 |
| Foto 3.7 | Depósitos Coluvio-aluviales conformado por bloques sub-angulosos y redondeados en una matriz limosa. | 31 |
| Foto 3.8 | Planicie Ubicada en la Parte baja de la Microcuenca | 33 |
| Foto 3.9 | Lomadas en el Margen izquierdo de la Microcuenca. | 34 |
| Foto 3.10 | Laderas en la Formación Chimú. | 34 |
| Foto 3.11 | Escarpas que no generan deslizamiento debido a que su Dirección de buzamiento es opuesta a la dirección del talud. | 35 |
| Foto 3.12 | Quebrada Andaden sin agua en Época de estiaje. | 45 |
| Foto 3.13 | Deslizamiento Activo ubicados en el Caserío Pomabamba. Coordenadas: N:9198790 E: 784243 Cota:2799 | 59 |
| Foto 3.14 | Deslizamiento Rotacional Activo ubicado en el Caserío Pomabamba. N: 9198740 E:784202 Cota:2780 | 59 |
| Foto 3.15 | Deslizamiento Rotacional ubicado en la Margen Izquierda de la Quebrada Andaden. N:9198520 E: 783918 Cota:2875 | 60 |
| Foto 3.16 | Deslizamiento Activo ubicado en el margen izquierdo de la quebrada Andadén, Caserío Pomabamba. Coordenadas: N: 9198250 E:783305 Cota:2977 | 61 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Foto 3.17 | Deslizamiento Rotacional Activo ubicado en la margen Izquierda de la Quebrada Andaden. | 61 |
| Foto 3.18 | Deslizamiento ubicado en la parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9198250 E:783184 Cota: 3022 | 62 |
| Foto 3.19 | Deslizamiento con pendiente moderada. Coordenadas: N: 9198030 E:782909 Cota:3074 | 62 |
| Foto 3.20 | Deslizamiento pequeño y de poca influencia en la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197870 E:782574 Cota:3152 | 63 |
| Foto 3.21 | Deslizamiento Activo ubicado en la Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197641 E:782334 Cota:3270 | 64 |
| Foto 3.22 | Deslizamiento Activo de gran Magnitud ubicado en la parte media de la Microcuenca. N: 9197580 E:782233 Cota:3273 | 64 |
| Foto 3.23 | Deslizamiento rotacional ubicado en la margen izquierda de la quebrada Andaden, Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197430 E:782037 Cota:3275 | 65 |
| Foto 3.24 | Zona Evidenciando curvatura de los árboles debido a la reptación. Coordenadas: N:9198170 E: 783199 Cota:3039 | 66 |
| Foto 3.25 | Zona en proceso de reptación, nótese la formación de grietas y pequeños escalones. Ubicación: N: 9198090 E: 783109 Cota: 3056 | 66 |
| Foto 3.26 | Zona en proceso de reptación con presencia de grietas. Coordenadas: N:9197891 E:782465 Cota: 3181 | 66 |

ABREVIATURAS

| | | |
|-----------------|---|---|
| DA | : | Desnivel Altitudinal |
| Oi | : | Ordenes de Ramificaciones |
| NTc | : | Número Total de Ríos |
| Li | : | Longitud Total de Ríos |
| Dd | : | Densidad de Drenaje |
| Fr | : | Frecuencia de Ríos |
| Ap | : | Ancho Promedio |
| Ff | : | Factor de Forma |
| Kc | : | Índice de Compacidad |
| Ip | : | Pendiente Media de la Subcuenca |
| Ki-chim | : | Formación Chimú |
| Ki-sa | : | Formación Santa |
| Ki-ca | : | Formación Carhuaz |
| Ki-fa | : | Formación Farrat |
| Qh-al | : | Depósitos Aluviales |
| Qh-co-al | : | Depósitos Coluvio-aluviales |
| UM | : | Unidades Morfogenéticas |
| LPRC | : | Línea de Precipitación Referencial Conservadora |
| DS | : | Desviación estándar |
| PP | : | Precipitación Total. |
| Pe | : | Precipitación Efectiva o Escurrimiento |
| F | : | Infiltración. |
| VF | : | Volumen de Infiltración |
| MMC | : | Millones de metros cúbicos |

RESUMEN

La Microcuenca Yanamango está ubicada en el Distrito de Jesús, Provincia de Cajamarca; abarca los caseríos de Pomabamba, Yanamanguito y Yanamango; donde afloran macizos rocosos del Grupo Goyllarisquizga fuertemente fracturados y meteorizados, así como depósitos cuaternarios aluviales y coluvio-aluviales. En zonas adyacentes a la quebrada Andaden (drenaje principal de la microcuenca) y otros poblados son visibles deslizamientos y fenómenos similares indicadores de inestabilidad, que podrían causar daño a los pobladores, a las carreteras de acceso, viviendas y demás infraestructuras aledañas al lugar. Frente a estos indicios se hizo necesario conocer el comportamiento de la microcuenca a través de un modelo geodinámico, principalmente de los depósitos cuaternarios que sobreyacen a las Formaciones del Grupo Goyllarisquizga, los cuales son afectados por las variables detonantes como la precipitación-infiltración y sismicidad. Para alcanzar los objetivos se delimitó la microcuenca mediante imágenes satelitales obteniéndose el Modelo Digital de Elevaciones (MDE). En campo se cartografiaron las zonas inestables, además se analizaron las variables sismicidad e infiltración, esta última en un periodo de datos históricos de 49 años de precipitaciones. Los resultados mostraron que los valores más altos de precipitación se distribuyen entre octubre y abril (72% a 95% del total anual), el volumen infiltrado durante los 49 años es sumamente considerable de 83.01 millones de metros cúbicos. La mayoría de los deslizamientos se producen en depósitos cuaternarios como consecuencia de un campo de esfuerzos activo, siendo los parámetros más determinantes las precipitaciones. Finalmente se diferenciaron tres zonas inestables: altamente inestable, inestable y moderadamente inestable.

Palabras Clave: inestabilidad, deslizamiento, modelo geodinámico, precipitación, sismicidad, infiltración.

ABSTRACT

The Yanamango Micro-basin is located in the District of Jesús, Province of Cajamarca; it includes the hamlets of Pomabamba, Yanamanguito and Yanamango; where strongly fractured and weathered rocky massifs of the Goyllarisquizga Group emerge, as well as alluvial and colluvium-alluvial quaternary deposits. In areas adjacent to the Andaden stream (main drainage of the micro-basin) and other towns, landslides and similar phenomena indicators of instability are visible, which could cause damage to the residents, access roads, homes and other infrastructures surrounding the place. Faced with these indications, it was necessary to know the behavior of the micro-basin through a geodynamic model, mainly of the quaternary deposits that overlay the Formations of the Goyllarisquizga Group, which are affected by the triggering variables such as precipitation-infiltration and seismicity. To achieve the objectives, the micro-basin was delimited by means of satellite images, obtaining the Digital Elevation Model (DEM). In the field, the unstable areas were mapped, in addition the variables seismicity and infiltration were analyzed, the latter in a period of historical data of 49 years of rainfall. The results showed that the highest precipitation values are distributed between October and April (72% to 95% of the annual total), the infiltrated volume during the 49 years is extremely considerable, 83.01 million cubic meters. Most of the landslides occur in quaternary deposits as a consequence of an active stress field, the most determining parameters being rainfall. Finally, three unstable zones were differentiated: highly unstable, unstable and moderately unstable.

Key Words: instability, landslide, geodynamic model, precipitation, seismicity, infiltration.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La Microcuenca Yanamango abarca los caseríos de Pomabamba, Yanamanguito y Yanamango, pertenecientes al distrito de Jesús, Departamento de Cajamarca, donde afloran las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, conformadas desde la base hasta el tope por areniscas cuarzosas, lutitas grises, calizas margosas, y areniscas rojizas, fuertemente fracturadas y meteorizadas; y superficialmente encontramos depósitos cuaternarios mayormente aluviales y coluvio-aluviales. En dicha microcuenca son visibles deslizamientos en las laderas de la quebrada Andaden y en las zonas bajas por sus características geomorfológicas constituidas por planicies aluviales, son susceptibles a inundaciones. Además, existen otros fenómenos como reptación de suelos, que en conjunto indican que se trata de un área geodinámicamente inestable.

Con estos antecedentes es necesario conocer cuál es el comportamiento geodinámico de los depósitos cuaternarios y las rocas que conforman el Grupo Goyllarisquizga que se encuentran en la Microcuenca Yanamango, y que son afectados por las variables detonantes. La posible respuesta es que la inestabilidad geodinámica de la microcuenca es producida por la precipitación-infiltración, escurrimiento y sismicidad.

Sin embargo, para confirmar esta hipótesis fue necesario seguir una secuencia de investigación que consistió; primeramente, en elaborar la delimitación de la microcuenca mediante imágenes satelitales y obtener el Modelo Digital de Elevaciones y los planos temáticos, después definir la estratigrafía y cartografiar los eventos geodinámicos; paralelamente fue necesario el análisis de las variables precipitación con una base de datos de precipitaciones históricas de 49 años. También se analizó la infiltración, escurrimiento y sismicidad, para finalmente zonificar las zonas inestables de la Microcuenca. La realización de todas estas

actividades de investigación permitió generar el Modelo Geodinámico de la Microcuenca Yanamango.

La investigación se centra básicamente en la relación de los factores que determinan el comportamiento geodinámico de la Microcuenca Yanamango, Distrito de Jesús, Provincia de Cajamarca y su importancia radica que en la microcuenca se evidencian movimientos de laderas notoriamente visibles en el poblado de Pomabamba, por incidencia de drenajes superficiales ubicados en la parte media alta de la Microcuenca, existiendo algunas viviendas propensas a ser afectadas por posibles deslizamientos, mientras que la parte baja de la microcuenca es susceptible a inundaciones debido a la geomorfología presente caracterizada por grandes planicies coluvio-aluviales. Frente a estas condiciones se hizo necesario la generación de un modelo geodinámico que permite entender cómo actúan las variables detonantes generadores de estos fenómenos; además el modelo incluyó una zonificación geodinámica para controlar el desarrollo territorial de los poblados ubicados en esta microcuenca.

La presente investigación consta de cinco capítulos; el primero se enfoca en el aspecto introductorio de la investigación, describiendo el contexto, problema, objetivos, hipótesis, alcances e importancia del presente proyecto. El segundo capítulo correspondiente al marco teórico, mostrando los antecedentes teóricos internacionales, nacionales y locales de la investigación, define también las bases teóricas con las que se desarrolla esta investigación, presentando subcapítulos que abarcan las principales teorías y conocimientos, en este caso se desarrolló lo concerniente a laderas, taludes, deslizamientos y factores desencadenantes; finalmente se definen términos básicos a manera de glosario que complementan la comprensión de la teoría brindada.

El tercer capítulo muestra la ubicación del proyecto, la metodología, las técnicas e instrumentos y los procedimientos desarrollados en la investigación; y desarrolla ampliamente las bases teóricas del capítulo anterior aplicadas a la Microcuenca Yanamango, abarcando su estratigrafía, geomorfología, hidrología y geodinámica.

El cuarto capítulo, está enfocado a la discusión de resultados, avocándose a la descripción, explicación y análisis de las variables de precipitación, infiltración y sismicidad; el análisis de los eventos y el comportamiento geodinámico en la Microcuenca Yanamango; el tratamiento y alternativas de solución frente a los deslizamientos y como culminación la contratación de la hipótesis de investigación.

El capítulo final concluye con la generación del modelo geodinámico de la microcuenca, la zonificación en tres zonas según el número de eventos de deslizamiento presentes y brinda recomendaciones para la gestión efectiva de estos eventos naturales y la opción de profundizar en una investigación más exhaustiva a futuro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Santacana (2001) Elaboró el estudio: Análisis de la Susceptibilidad del Terreno a la Formación de Deslizamientos Superficiales y Grandes Deslizamientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Aplicación a la Cuenca Alta del Río Llobregat cuyo objetivo principal de análisis fue la toma de la mayor parte de los factores relacionados con estos deslizamientos derivados de un Modelo Digital de Elevaciones. Los Resultados mostraron que el método presentado es útil para áreas grandes, es un método objetivo y facilita reproducir los resultados.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Sosa (2016) Realizó el estudio: Análisis de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos por Movimientos en Masa - Poblados de Pampamarca y Acobamba, Región Huánuco, donde logró identificar 67 peligros, y cuyo resultado fue el Mapa de Susceptibilidad elaborado con ayuda del SIG ARCGIS 10.1 mediante el método del Análisis Estadístico Bivariante a partir del cual estableció que el 33.11% del territorio estudiado presenta muy baja susceptibilidad, el 25.8 % baja susceptibilidad, el 4.22 % moderada susceptibilidad, el 21.73 % alta susceptibilidad y 15.06 % presenta muy alta susceptibilidad.

2.1.3 Antecedentes Locales

Huaripata (2014) Realizó el estudio: Modelo Geodinámico de la Quebrada Cruz Blanca, Microcuenca Cruz Blanca – los Chilcos, considerando el comportamiento

geodinámico, geomorfológico, estructural, hidrológico, hidrogeológico y geotécnico determinando que los fenómenos de geodinámica externa como erosión de laderas, deslizamientos, caída de rocas, derrumbes, reptación, suceden principalmente en la parte alta y media de la Microcuenca.

Fuentes (2017) Realizó el: Análisis Geodinámico de las Zonas Inestables en los alrededores del Poblado de Jesús, llegando a la conclusión que las precipitaciones y la sismicidad son las variables condicionantes de inestabilidad de laderas y taludes presentes en depósitos coluvio - aluviales.

Torres (2017) Realizó el estudio: Análisis del deslizamiento el Naranjo mediante el Método de Equilibrio Límite con el Software Slide, Magdalena – Cajamarca, para ello analizó el comportamiento de las precipitaciones de dicho sector, hizo el cartografiado geológico, geodinámico, logró definir la geometría del deslizamiento, y finalmente determinó los factores de seguridad mediante el Software Slide v.7.

Zavala y Barrantes (2007) Realizaron el informe técnico: Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Cajamarca. Enfocado en la Erosión de laderas (cárcavas y surcos), que generan derrumbes cara libre y a la vez flujos de detritos de naturaleza excepcional en cinco quebradas o cárcavas principales. Distinguieron abanicos de flujos antiguos de gran dimensión también erosión intensiva de tierras de pastoreo, caminos de herradura y carrozable.

Reyes (1980) Elaboró el estudio: Geológico Regional detallado de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba a escala 1:100,000.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Laderas y Taludes

Suárez (1998) define taludes o laderas como masas de tierra que no son planas, sino que tienen pendiente o cambios de altura significativos. Por tanto, se denomina ladera cuando su conformación actual tuvo origen mediante un proceso natural y talud cuando se formó artificialmente, como se muestra en la Figura 2.1:

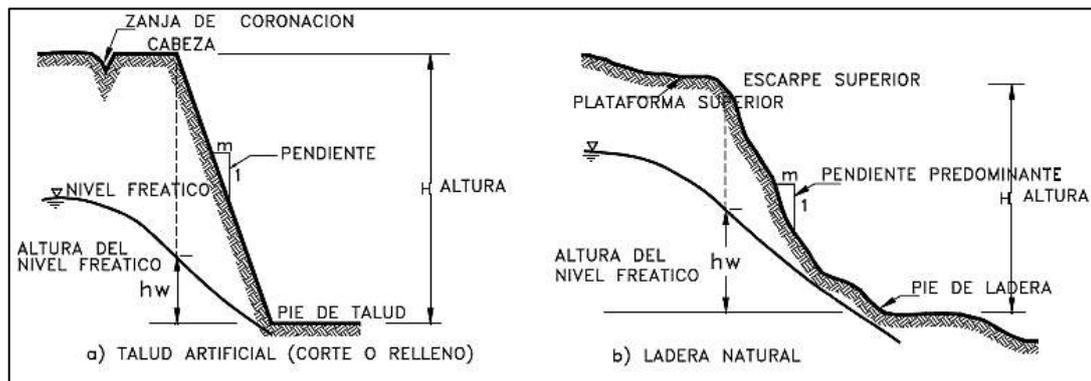


Figura 2.1. Laderas y Taludes.
Fuente: Tomado de Suárez 1998.

2.2.2 Deslizamiento

Según Corominas (2004), «es un desplazamiento ladera abajo, de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla». Asimismo, indica que algunos elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.

Santacana (2001), señala que los deslizamientos constituyen un riesgo geológico de origen natural y deben tomarse en cuenta en la planificación territorial en las diferentes localidades, pues causan grandes pérdidas materiales, aunque pocas víctimas mortales, comparados con otros fenómenos naturales como inundaciones, los volcanes o los terremotos.

Ayala, citado por Rodríguez (2016), indica que la inestabilidad de los macizos se produce en correlación con los diversos tipos de materiales y los mecanismos de rotura intervinientes, esto significa que el movimiento ha superado la resistencia al corte del material y el desplazamiento sucederá a lo largo de una o varias superficies o se podrá desarrollar a través de una franja relativamente estrecha del material.

2.2.2.1 Deslizamiento Rotacional

En este tipo de deslizamiento la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Muestran una morfología distintiva que se caracteriza por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es a menudo muy poca, puesto que el mecanismo rotacional es auto - estabilizante, y este ocurre en rocas poco competentes (GEMMA 2007).

Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir de manera lenta a rápida, con velocidades menores a 1 m/s. En un deslizamiento rotacional, la superficie de falla es cóncava hacia arriba, el movimiento es rotacional con respecto al eje paralelo a la superficie y transversal al deslizamiento. Visto en planta, el deslizamiento rotacional presenta un conjunto de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento (Suárez 2007).

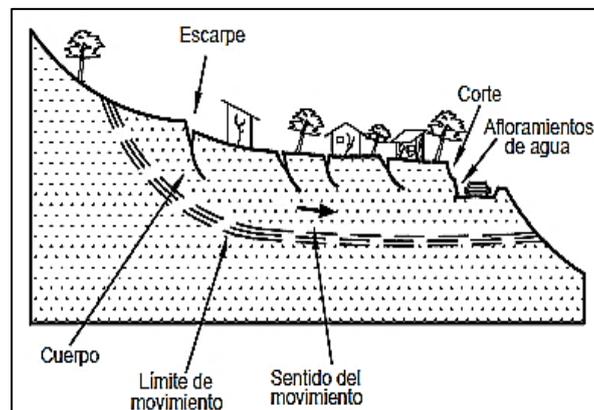


Figura 2.2 Deslizamientos en suelos blandos (Suárez 2007).

Es así que el movimiento produce entonces un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento, lo cual genera comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento. Una manifestación típica de un deslizamiento rotacional se muestra cuando la cabeza del deslizamiento se mueve hacia atrás y los árboles se inclinan, de manera diferente tanto en la cabeza como en el pie del deslizamiento.

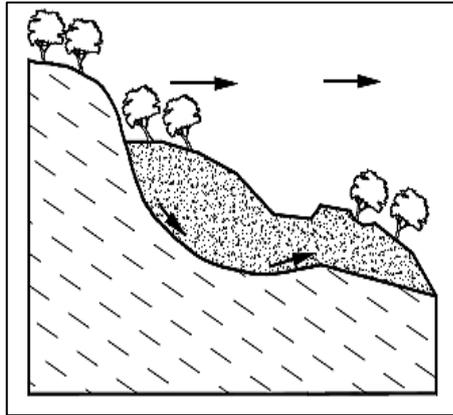


Figura 2.3 Deslizamiento Rotacional Típico

Los deslizamientos rotacionales suceden usualmente en suelos homogéneos, tanto naturales o artificiales. Al existir rotación en zonas tropicales, la superficie de falla comúnmente es curva, pero no necesariamente circular, y está relacionada con la presencia de materiales residuales cuya resistencia al corte de los materiales aumenta con la profundidad. En cambio, en las zonas de meteorización muy profunda y en los rellenos de altura significativa, es notorio que algunas superficies de falla se asemejan a círculos (Suárez 2007).

Según Suárez (2007) indica que dentro de un deslizamiento general ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y en algunos casos, ocurren varios desplazamientos sucesivos pero que suelen conformar una zona de desplazamientos rotacionales independientes. Dentro de ello, los casos más conocidos de deslizamientos rotacionales, se presentan en suelos arcillosos blandos con perfil profundo y en suelos residuales con perfiles meteorizados de gran espesor.

2.2.2.2 Deslizamiento Traslacional

Este tipo de deslizamiento sucede cuando la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. Estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre frecuentemente a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y suelo transportado que la recubre (Cruden y Varnes, citado por GEMMA 2007).

El movimiento de la masa en un deslizamiento traslacional se realiza mediante un desplazamiento hacia fuera o hacia abajo, generalmente a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de volteo (Suárez 1998).

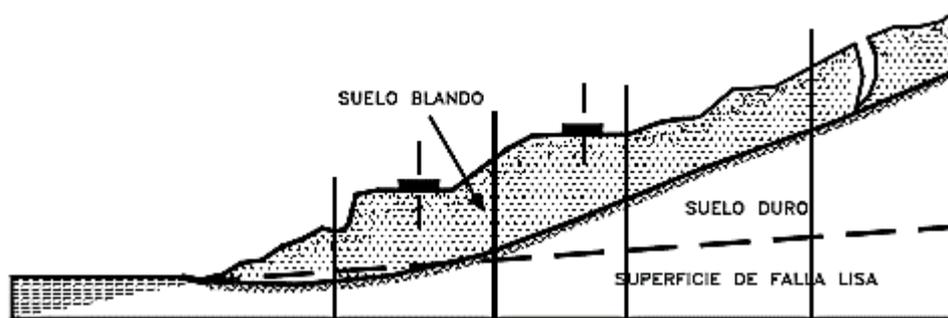


Figura 2.4. Deslizamiento de traslación en la vía Tijuana – Ensenada en México. Fuente. Tomada de Suárez 1998

2.2.3 Reptación

Corominas (2004), indica que la reptación es un movimiento de flujo extremadamente lento e imperceptible, excepto en largos períodos de tiempo.

Es un desplazamiento descendente causado por efecto de la gravedad, suele ocurrir en taludes formados de material arcilloso y suelto. Las áreas afectadas por estos eventos responden a factores condicionantes como la geología y la pendiente propia de la zona, entre los principales; además, se ven influenciados por ciertos factores detonantes como por ejemplo las precipitaciones, generando mecanismos de expansión y contracción alternantes en materiales arcillosos, producto de la humedad estacional en el suelo, aumentando su peso (Sharpe, citado por Corominas 2004).

2.2.4 Factores desencadenantes

Durante el fenómeno de detonación o activación de un deslizamiento, actúa una serie compleja de procesos. Los deslizamientos pueden activarse de manera instantánea o en forma progresiva. El resultado generalmente es un incremento en los esfuerzos cortantes, los cuales aumentan a lo largo de la superficie de falla hasta producirse el movimiento (Suárez 2007).

De acuerdo con González et al. (2002), los factores desencadenantes (o «activos») pueden considerarse como factores externos que provocan la inestabilidad y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los movimientos.

2.2.4.1 Precipitación

Es el volumen de agua de lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo, tiene influencia directa en la infiltración y en el régimen del agua subterránea, además afecta la estabilidad de taludes o laderas (Suárez 2007).

El desencadenamiento de los deslizamientos por causas meteorológicas y climáticas está relacionado principalmente con el volumen, intensidad y distribución de precipitaciones y con el régimen climático. Por tanto, debe considerarse la respuesta del terreno a precipitaciones intensas ya sea durante horas (tormentas) o días, y la respuesta estacional (épocas secas y lluviosas durante el año).

El agua en el terreno origina presiones que alteran los estados tensionales, por presiones intersticiales y aumento del peso, a procesos de erosión tanto interna y externa y a cambios mineralógicos, todos estos aspectos modifican las propiedades y resistencia de los materiales, sobre todo en suelos (González et al. 2002).

Las precipitaciones intensas durante horas o días pueden desencadenar movimientos, como deslizamientos, flujos de barro que afectan a materiales de alteración y a suelos, y desprendimientos de bloques rocosos, siendo frecuente además la reactivación de antiguos deslizamientos. Los periodos lluviosos prolongados de semanas o meses suelen dar lugar a un incremento importante de los fenómenos de inestabilidad en zonas susceptibles. El desencadenamiento de nuevos deslizamientos profundos o de gran magnitud obedece a condiciones climáticas a largo plazo, con regímenes de precipitación y condiciones de humedad suficientes para modificar de forma significativa los niveles freáticos y el contenido de agua del terreno (González et al. 2002).

El agua está relacionada con la mayoría de las fallas de los taludes y/o laderas, pues juega un papel muy importante en la mayoría de los procesos que reducen la

resistencia del suelo. Igualmente, está vinculado con varios tipos de carga que aumentan los esfuerzos cortantes en los taludes (Suárez 2007).

La mayoría de deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos prolongados y el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos a realizarse para estabilizar deslizamientos (Suárez 1998).

En las fallas de los taludes, el agua puede actuar como un elemento detonante debido a los siguientes criterios según Suárez 2007:

- Ocasiona un aumento de peso del suelo, pues los sedimentos tienen porosidades altas y los espacios de vacío al llenarse de agua, el peso unitario aumenta considerablemente.
- Disminuye la resistencia del suelo pues el agua es absorbida fácilmente gracias a las fuerzas electro químicas y se adhiere a los bordes y caras de las partículas de arcilla.
- Se da un proceso de disolución ya que el agua al fluir a través de los poros, disuelve los minerales que unen las partículas, disminuyendo la resistencia y haciendo más fácil el colapso.
- Además, puede existir un proceso de erosión interna en donde el agua al fluir genera pequeñas cavernas, las cuales pueden inducir la falla.
- El agua aumenta la presión de poros, disminuyendo así la resistencia a la fricción.

Estos procesos podemos observarlo en la Figura 2.5.

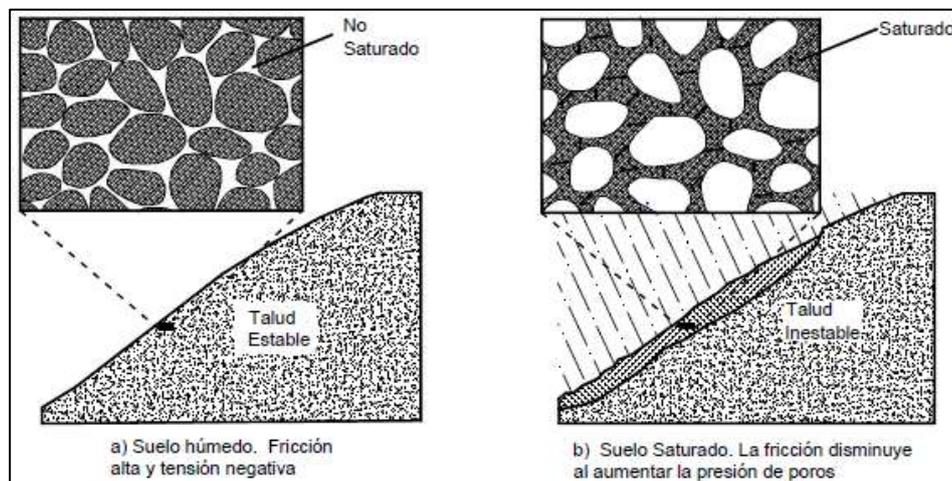


Figura 2.5. Proceso de saturación del perfil del suelo.

Fuente: Tomado de Suárez 2007

2.2.4.2 Infiltración

La infiltración se define como el recorrido del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca mediante los poros o intersticios y discontinuidades del macizo rocoso. El porcentaje de infiltración es la proporción de lluvia que se infiltra en el suelo (Suárez 1998).

La infiltración del agua de lluvia en las laderas produce flujos subsuperficiales y subterráneos, aumenta el contenido de agua de la zona no saturada y por tanto eleva el nivel freático, recargando así la zona saturada (González et al. 2002).

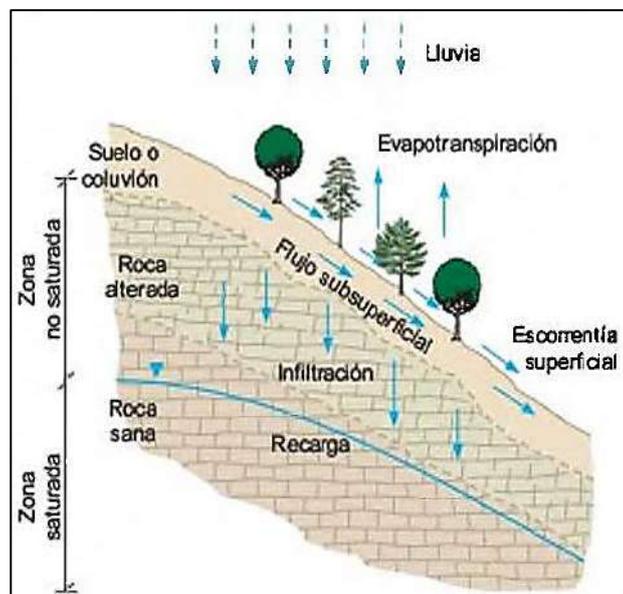


Figura 2.6. Esquema de circulación del agua en una ladera Fuente: Tomado de González et al. 2002

Según Suárez (1998) la cantidad de agua que penetra en la tierra se determina por varios factores:

- La cantidad, intensidad y el tipo de precipitación.
- El ritmo de precipitación es importante considerarse en la infiltración, pues sucede que cuanto más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, puesto que se satura la superficie del terreno y no permite la infiltración rápida. En cambio, mientras más lenta es la lluvia, habrá más infiltración y menos escorrentía.
- La infiltración es mayor en terrenos más planos a los que corresponde velocidades de escurrimiento superficial menores.

- La permeabilidad de los suelos y rocas, la estructura considerando la fracturación, estratigrafía y la secuencia de los estratos permeables y los impermeables.
- La cantidad y la variedad de vegetación.

Dependiendo de estos factores, se pueden originar estados de desequilibrio y dar lugar a la inestabilidad de las laderas (Suárez 2007).

González et al. (2002), indica que «La rápida infiltración del agua de lluvia, saturan el terreno superficial e incrementan las presiones intersticiales, generando los movimientos».

Es importante considerar que la falta de vegetación en las laderas, la presencia de materiales sueltos y la existencia previa de inestabilidades permite una mayor capacidad de infiltración y movilización de los materiales (González et al. 2002).

2.2.4.3 Sismicidad

En zonas montañosas la sismicidad, comúnmente es alta, pues la mayoría de las cadenas de montañas son producto de procesos tectónicos o volcánico. Es sabido también que los movimientos sísmicos pueden activar los deslizamientos de tierra. Al ocurrir un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y la deformación, asociados con la onda sísmica (Suarez 2007).

Zonas Sísmicas del Perú

El territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas. Dicha zonificación propuesta se basa en una distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos, con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

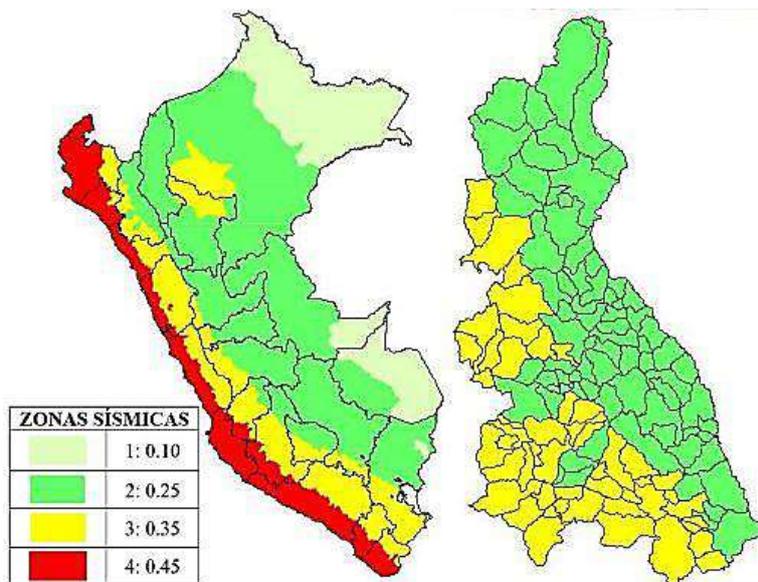


Figura 2.7. Zonas Sísmicas en el Perú y Cajamarca-Distritos
Fuente. RNE- NT E-030 Ministerio de Vivienda,
Construcción y Saneamiento 2006.
Modificado MTC Marzo – 2016.

2.2.5 Parámetros Geomorfológicos de Unidades Hidrográficas

2.2.5.1 Parámetros Básicos

Son aquellos parámetros obtenidos directamente desde el software SIG, por generación digital, considerándose como información preliminar y base para el cálculo y análisis de los parámetros fundamentales (Rodríguez 2016).

Área (A): Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas en la microcuenca. Su unidad de medida es el kilómetro cuadrado (km²).

Cuadro 2.1. Clasificación de las Unidades Hidrográficas por el área

| UNIDAD HIDROGRÁFICA | ÁREA | ORDEN DE DRENAJE |
|---------------------|----------|------------------|
| Microcuenca | < 40 | 1, 2, 3 |
| Subcuenca | 40 - 350 | 4,5 |
| Cuenca | > 350 | 6 a más |

Fuente. Rodríguez y Huamán, 2016.

Perímetro (P) (km): Es la medida de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, en el contorno de la divisoria de aguas. Está dada en Km.

Longitud del Cauce Principal (L en Km): Es la distancia entre el punto inicial más alto y el punto más lejano del drenaje principal. La medición se obtiene automáticamente por el SIG después de unir estos dos puntos y su unidad es en Km.

Desnivel Altitudinal (DA en m): Es la diferencia de altitud entre la cota máxima y la cota mínima de la microcuenca, dichas cotas deben encontrarse dentro de la línea del perímetro. Se calcula $H_M - H_m$ en msnm.

Grado de Ramificaciones o Sistema de Drenaje: Es el conjunto de ramificaciones existente en la microcuenca, constituido por los órdenes de drenaje, número total de cursos y la longitud total de ríos. El procedimiento inicial para lograr este parámetro es obtener los drenajes iniciales dentro de la microcuenca mediante el SIG, luego se realiza un reajuste manual de los drenajes y con ello se reconfirma los parámetros nuevamente con el SIG, el cual nos entrega los valores numéricos y cantidades en una tabla resumen (Rodríguez 2016).

Ordenes de Ramificaciones (Oi)

Determinado mediante el esquema de clasificación de Horton- Strahler, el cual indica que las redes de drenaje se pueden representar por un conjunto de nodos conectados unos a otros por segmentos, de manera que cada nodo tiene una única ruta de salida (Strahler citado por Gaspari *et al.* 2012).

Para jerarquizar una red de drenaje se asignan valores numéricos a los órdenes de los cursos que conforman la red de drenaje, asignando valor 1 a los cursos que son las nacientes, valor 2 a la unión de dos cauces de orden 1, valor 3 a la unión entre dos cauces de orden 2, y así sucesivamente hasta finalizar con la jerarquización de la red de drenaje. Cabe señalar que el río principal es el curso de agua cuyo cauce alcanza la máxima magnitud dentro del área ocupada por la cuenca.

Número Total de Cursos o Ríos (NTc)

Es el total de cauces o ríos en una microcuenca.

Longitud Total de Ríos (Li en Km):

Es la suma de la medida de todos los drenajes o cauces dentro de la microcuenca.

2.2.5.2 Parámetros Fundamentales

Son aquellos que se obtienen a partir de los parámetros básicos y mediante cálculos utilizando fórmulas matemáticas.

Densidad de Drenaje (Dd en Km / Km²)

Está definida como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca con respecto a su área (López Cadenas de Llano citado por Gaspari *et al.* 2012).

Cuadro 2.2. Rangos aproximados de la densidad de Drenaje

| CLASES DE DENSIDAD DE DRENAJE | | Densidad De Drenaje | Características de la Cuenca |
|-------------------------------|----------|---------------------|------------------------------|
| Rangos de Densidad | Clases | | |
| 0.1 – 1.8 | Baja | 0<Dd<1 | Regularmente drenada |
| 1.9 – 3.6 | Moderada | 1<Dd<1.5 | Normalmente drenada |
| 3.7 – 5.6 | Alta | 1.5<Dd | Bien drenada |

Fuente. Mencionado por Rodriguez y Huamán 2016.

Extensión Media de Esguerrimiento Superficial (en Km)

Este parámetro muestra la distancia media que el agua de las precipitaciones tendrá que desplazarse hasta alcanzar un cauce de agua cercano. Su fórmula es:

$$Es = \frac{A}{4Li}$$

Dónde: Es = Extensión Media de Escurrimiento Superficial
 A = Área de la microcuenca
 Li = Longitud total de los cursos de agua en Km

Frecuencia de Ríos (Fr en Ríos/Km²)

Se calcula entre el total de cursos o ríos (NTc) y el área de la cuenca (A).

$$Fr = \frac{NTc}{A}$$

Parámetros de Forma

Ancho Promedio de la Microcuenca (Ap en Km)

Es la relación entre el área y la longitud del cauce principal y su ecuación es:

$$Ap = \frac{A}{L}$$

Factor de Forma (Ff)

Es un factor adimensional que indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca hidrográfica. Relaciona el ancho promedio de la subcuenca y la longitud del cauce más largo, midiendo las tendencias hacia las crecidas.

$$Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A/L}{L}$$

Cuadro 2.3. Rangos aproximados del Factor de Forma.

| Factor de Forma (valores aproximados) | Forma de la Cuenca |
|--|---------------------------|
| <0.22 | Muy Alargada |
| 0.22 a 0.30 | Alargada |
| 0.30 a 0.37 | Ligeramente alargada |
| 0.37 a 0.45 | Ni alargada ni ensanchada |
| 0.45 a 0.60 | Ligeramente ensanchada |
| 0.60 a 0.80 | Ensanchada |
| 0.80 a 1.20 | Muy ensanchada |

Fuente. Elaborado en base a Córdova 2015.

Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (K_c adimensional)

Establece la relación entre el perímetro de la microcuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la microcuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la microcuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López y Mintegui citado por Córdova 2015).

Este índice se basa en la comparación con una cuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (López citado por Córdova 2015).

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28xP}{\sqrt{A}}$$

Cuadro 2.4. Rangos de los valores de compacidad

| VALORES DE COMPACIDAD | |
|--------------------------------|---|
| Rangos K_c | Clases de Forma |
| <1.25 | Redonda a Oval Redonda |
| 1.25 – 1.50 | De oval a Redonda a Oval Oblonga |
| 1.50 – 1.75 | De oval Oblonga a Rectangular Oblonga |
| >1.75 | Rectangular Oblonga a casi rectangular (alargada) |

Fuente. Rodríguez y Huamán 2016.

Altitud Media

Es el parámetro que determina la altitud media de la microcuenca, considera los parámetros h_i , S_i y A según la ecuación que se muestra; y no significa el promedio de las altitudes mínima y máxima. Según Langbein et al. citado por Rodriguez (2016) lo relaciona con la curva hipsométrica donde se puede ubicar geoméricamente en una línea perpendicular a las áreas parciales y que debe cortar la curva hipsométrica, punto desde el cual se traza una línea hacia el eje de altitud y donde lo corta se encuentra la altitud media de la subcuenca.

$$H = \frac{\sum(h_i x S_i)}{A}$$

H: Altitud media de la Cuenca

hi: Altitud media de cada área parcial comprendida entre las curvas de nivel. Es tomada con respecto a la desembocadura

Si: Área parcial entre curvas de nivel.

A: Superficie total de la Subcuenca (Km²) considerando las áreas parciales.

Pendiente Media de la Subcuenca (Ip)

Corresponde al valor medio de las pendientes de las áreas parciales de la subcuenca, tomando en consideración el lado mayor del rectángulo equivalente, según la ecuación que se muestra a continuación. Según Ortiz citado por Rodriguez (2016) existe relación con la magnitud de la componente de escorrentía y grado de erosión de la subcuenca.

$$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \times \sum \sqrt{\frac{B_i(a - a_{n-1})}{1000}}$$

Polígono de Frecuencia de Altitudes

El diagrama del polígono de frecuencia de altitudes representa en el eje de las ordenadas, el porcentaje parcial del área de una cuenca y en el eje de las abscisas, las altitudes en metros sobre el nivel del mar comprendidas dentro de ese porcentaje (López Cadenas de Llano 1998).

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica representa en el eje de las ordenadas, las elevaciones en metros sobre el nivel del mar y en el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada. Es representada a través de una curva característica muy importante de una cuenca en estudio, caracteriza de algún modo el relieve (Ministerio de Agricultura y Alimentación citado por Córdova 2015).

Parámetro del Rectángulo Equivalente

Es la transformación geométrica de la cuenca en un rectángulo ideal que tiene la misma área y perímetro. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estas la primera y la última curva de nivel, respectivamente.

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

$$l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A}$$

L, l = lado mayor y menor del rectángulo en km, respectivamente

P = Perímetro de la cuenca en Km

A = Área de la cuenca en km²

Pendiente Media del Río

De acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente se da la influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas (López Cadenas de Llano citado por Córdova, 2015).

$$Ic = \frac{HM - Hm}{1000 \times L}$$

Ic: Pendiente media del cauce en %

HM Y Hm: Altitud máxima y mínima del cauce en msnm

L: Longitud del cauce en Km

Declive Equivalente Constante

Considera que el tiempo de traslado del flujo de agua varía a lo largo del curso del río en relación con la inversa de la raíz cuadrada del tiempo medio de traslado, considerando las longitudes parciales del perfil del río entre dos curvas (*l*), el recíproco de la raíz cuadrada de cada declividad del perfil longitudinal (*t*) y la longitud del río más largo (*L*). Para el cálculo se utilizan las fórmulas matemáticas siguientes:

$$S = \frac{1}{(Tm)^2} \quad Tm = \frac{\sum l.t}{L}$$

Tm: Tiempo Medio de traslado.

l: Longitud parcial de un tramo del perfil longitudinal entre dos curvas de nivel.

t: Recíproco de la raíz cuadrada de cada una de las declividades parciales del perfil longitudinal.

L: Longitud del río más largo o principal.

Perfil Longitudinal

El perfil de un cauce indica gráficamente la variación de la elevación a lo largo de su desarrollo, se obtiene graficando en las abscisas los valores de sus recorridos horizontales contra los cambios de elevaciones respectivos en las ordenadas.

Coefficiente de Torrencialidad

Es un índice que mide el grado de torrencialidad de la subcuenca, mediante la relación entre el número de cursos o ríos de primer orden y el área de la subcuenca. Como interpretación sería que a mayor coeficiente de torrencialidad mayor grado o efecto de torrencialidad en la cuenca.

$$Ct = \frac{N1}{A}$$

N1: Número de cursos o ríos de 1er orden.

A: Área total de la cuenca

Coefficiente de Masividad

Es la relación entre la altitud media del relieve (*H*) y el área de la subcuenca (*A*), ambos parámetros se obtienen con el software SIG. Según Ortiz citado por Rodríguez (2016), el coeficiente de masividad aumenta cuando la altura de la subcuenca crece y/o el área disminuye. En tal sentido toma valores bastante grandes para subcuencas muy pequeñas; disminuyendo para subcuencas extensas y de baja pendiente.

$$Cm = \frac{H}{A}$$

H: Altitud media de la cuenca

A: Área total de la cuenca

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Hidrología: Es la ciencia que estudia el comportamiento de las aguas y las leyes que rigen dichos comportamientos tales como permeabilidad, presiones hidrostáticas, movimientos de las aguas superficiales, marinas y subterráneas, también estudia sus propiedades físicas y químicas (Dávila 2011).

Precipitación Pluvial: La precipitación es el volumen de agua de lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo determinado (Suárez 2007).

Infiltración: La infiltración es la capacidad de penetración de las aguas mayormente de lluvias en las rocas y/o suelos (Dávila 2011).

Sismicidad: La sismicidad involucra a las características de ocurrencia de sismos en una región dada dependiendo de su situación tectónica (Zúñiga 2011).

Cuenca Hidrográfica: Son espacios territoriales delimitados por las partes más altas de las montañas donde se concentran todos los escurrimientos (ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida o punto de aforo de la cuenca, puede ser un lago o el mar (Cotler *et al.* 2013).

Quebrada: Es un valle relativamente estrecho y de corto recorrido (Dávila 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Ubicación Geográfica

Geográficamente la Microcuenca Yanamango se encuentra al sur oeste de la ciudad de Cajamarca, siendo la referencia principal la quebrada Andaden que corta la carretera en el km 12 aproximadamente. Cuenta con un área aproximada de 7.08 km².

Las coordenadas que contienen al perímetro del área de investigación se calcularon desde el Plano N°01 (Imagen Satelital) y Plano N°03 (Modelo Digital de Elevaciones - MDE) y se presentan en la Tabla 3.1 con Sistema de coordenadas UTM: DATUM WGS-84, y zona – 17S,

Tabla 3.1. Coordenadas UTM – WGS-84 que comprenden el Área de Investigación

| VÉRTICES | ESTE | NORTE |
|-----------------|-------------|--------------|
| NE | 785000 | 9200400 |
| SE | 785000 | 9195500 |
| SW | 780400 | 9195500 |
| NW | 780400 | 9200400 |

3.1.2 Ubicación Política

Políticamente la Microcuenca Yanamango comprende los Caseríos de Yanamango, Yanamanguito y Pomabamba en el Distrito de Jesús, Provincia y Región de Cajamarca.

3.2 ACCESIBILIDAD

Se accede a la Microcuenca Yanamango desde la ciudad de Cajamarca, a través de la carretera a Jesús una distancia de 12 km, durante aproximadamente 25 minutos (en vehículo) hasta llegar a la misma quebrada principal de la Microcuenca (denominada quebrada Andaden) que se intercepta con la carretera antes de llegar a la fábrica de Backus. A partir del cual se puede recorrer toda la microcuenca siguiendo la dirección oeste.

Otro acceso importante es continuar el recorrido hasta el paradero del Centro Poblado La Huaraclla y seguir la carretera de trocha que está a la mano derecha del paradero durante unos 50 minutos caminando en dirección suroeste hasta encontrarnos con la quebrada Andadén en la parte media de la microcuenca (ver Plano N° 02 – Accesibilidad).

3.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima es típico de la sierra con precipitaciones pluviales promedio de 500 mm anuales y temperatura promedio que oscila entre los 5 °C a los 25°C. La humedad en la zona es variable de 60% a 70%. La fuente de análisis ha sido la Estación Jesús del SENAMHI - 2019. Algunos datos adicionales son los siguientes:

- Temperatura máxima: 24.44 °C - Temperatura mínima: 6.25 °C
- Velocidad del viento máx.: 9.83 m/s - Velocidad del viento mín.: 1.61 m/s

La vegetación se encuentra mayormente en las zonas de planicies y lomadas, constituidas principalmente por eucaliptos, algunas plantas de capulí, sauce, pencas, arbustos de tallo corto y en las partes de valle y lomadas se tienen también sembríos como maíz, papas, alfalfa, trigo, cebada según la época del año.



Foto 3.1. Vegetación de eucaliptos y sembríos de cebada.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo y método de la Investigación

La investigación fue de tipo descriptiva detallando los eventos geodinámicos y especificando sus características; correlacional pues se analizó la relación entre las variables precipitación, infiltración y sismicidad y explicativa porque se logró identificar las causas de los eventos geodinámicos y explicar en qué condiciones se relaciona las variables. Está asociado al diseño de investigación no experimental dado que se observan los fenómenos en su contexto natural tal como se presentan. El método de la investigación es Inductivo-Deductivo, donde a partir de los diferentes puntos muestreados, se obtienen datos para determinar las características de los deslizamientos de la Microcuenca.

3.4.2 Población de estudio

Laderas y taludes de los 7 km² de la Microcuenca Yanamango.

3.4.3 Muestra

Hidrología, Geomorfología, Eventos Geodinámicos.

3.4.4 Unidad de análisis

Precipitaciones, infiltración, Sismicidad, Litología, Pendiente.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Técnicas

La técnica utilizada principalmente será la observación durante la etapa de campo para el reconocimiento y descripción de las propiedades físicas, obteniendo los parámetros correspondientes relacionados a geomorfología, geodinámica,

realizados mediante itinerarios por los caminos de herradura, siguiendo las quebradas y carreteras donde se mostraban los afloramientos.

La Geomorfología y su correlación con la variable geodinámica se realizó mediante cartografiado de campo, considerando las unidades geomorfológicas y la medición de pendientes. Así mismo se hará el cartografiado geológico.

La variable hidrológica está constituida por la data base de precipitaciones 1970-2019, obtenida de la estación meteorológica Weberbauer y traspuesta hacia la Microcuenca Yanamango.

3.5.2 Instrumentos y equipos

- Libreta de campo, para hacer apuntes y descripciones.
- GPS Garmin Etrex 30, usado para tomar las coordenadas geográficas de los eventos geodinámicos.
- Brújula Brunton, para medir rumbos y buzamientos de los afloramientos.
- Cámara Fotográfica Huawei 24 MP, para registrar las fotografías de afloramientos, deslizamientos, reptación, vegetación, etc.
- Picota Geológica - Marca Steel de 35 cm, para extraer muestras de rocas.
- Planos Geológicos, Imágenes Satelitales en escala 1:20000
- Tablero de madera para portar los planos y facilitar la revisión en campo.
- Wincha - Stanley de 50m, para medir aproximadamente los deslizamientos.
- Laptop Hp Core i3, para realizar toda la redacción de la tesis y el procesamiento en el software respectivo.

3.6 PROCEDIMIENTOS

3.6.1 Etapa Preliminar

Esta etapa corresponde a la búsqueda de información en libros, estudios, investigaciones, tesis y papers relacionados con inestabilidad de laderas, centrados específicamente en deslizamientos en macizos constituidos por suelos y rocas calcáreas, lutáceas, y areniscosas.

3.6.2 Trabajo de Campo

La segunda fase comprende la descripción en campo del macizo rocoso y depósitos cuaternarios en su aspecto geo-estructural, geomorfológico y geodinámico de las zonas inestables para conocer con mayor precisión los procesos que están afectando el área comprendida en la Microcuenca.

3.6.3 Trabajo de Gabinete

Obtenida la data tomada en campo, se procedió a analizar la información elaborando cuadros de precipitaciones y determinando coeficientes de sismicidad, además se hizo la correlación de las variables independientes con la dependiente sometiendo la información a análisis con el software Excel, ArcGis 10.5 y Load Cap proporcionando resultados para su interpretación.

Finalmente se procede a realizar la presentación del proyecto de Investigación.

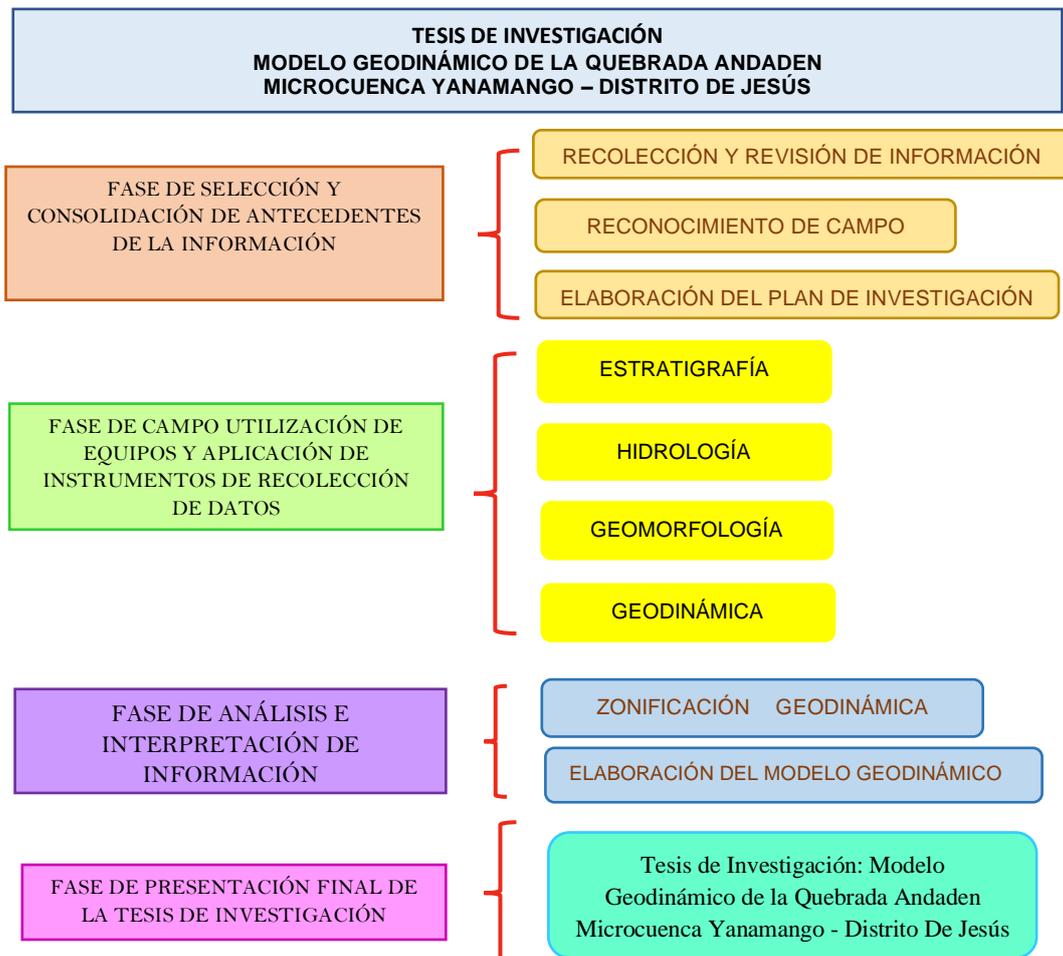


Figura 3.1. Fases del Proceso de la Investigación

3.7 ESTRATIGRAFÍA

En la Microcuenca Yanamango se encuentran diferentes unidades geológicas las cuales intervienen en los procesos geodinámicos, puesto que se encuentran rocas pertenecientes al Cretácico Inferior como: Formación Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Presentando secuencias estratigráficas de areniscas, lutitas calcáreas, areniscas cuarzosas, todas ellas en forma de estratos. También están presentes depósitos cuaternarios de tipo aluvial, y coluvio-aluvial con distribución heterogénea y se pueden observar en el Plano N° 04: Plano Geológico.

3.7.1 Grupo Goyllarisquizga (Ki – g)

3.7.1.1 Formación Chimú (Ki – Chim):

La Formación Chimú aflora en dirección noreste a suroeste de la Microcuenca, consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas blancas y macizas en capas de 1 a 3 metros de espesor presenta además lutitas en la parte inferior.



Foto 3.2. Areniscas cuarzosas fuertemente fracturadas de la Formación Chimú, aflorantes en estratos más o menos uniformes.
Ubicación: E: 783548 N: 9198829

3.7.1.2 Formación Santa (Ki – Sa):

Consiste en la intercalación de lutitas grises deleznales y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. Suprayace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en

ambos casos. Presente en la parte media de la microcuenca en los cortes de las quebradas (Foto 3.3).



Foto 3.3. Lutitas grises deleznales pertenecientes a la Formación Santa; aflorantes en estratos delgados. Ubicación: E: 782688 N:9197989

3.7.1.3 Formación Carhuaz (Ki – Ca):

La encontramos al suroeste de la Microcuenca entre la parte media y alta de la misma. Consiste en una secuencia de areniscas de grano fino (0.1 a 0.2 mm) meteorizadas con tonalidades rojizas en bancos de 30cm intercaladas con lutitas y/o limolitas grises y violetas, las lutitas intemperizadas toman un color parduzco. (Ver Foto 3.4).



Foto 3.4. Afloramiento de la Formación Carhuaz, el cual presenta areniscas de grano fino intercaladas con limolitas violetas. Ubicación: E: 782650 N: 9197200

3.7.1.4 Formación Farrat (Ki – fa):

Son Afloramientos presentes en la parte alta de la Microcuenca constituido por estratos delgados de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso en matriz silícea, intercalados con capas delgadas de limolitas grises.



Foto 3.5. Afloramiento de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso; éstas se presentan en estratos de espesor variable y pertenecen a la Formación Farrat. Ubicación: E: 783046 N: 9197100

3.7.2 Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios más importantes están constituidos por pequeñas terrazas aluviales, depósitos coluviales y coluvio - aluviales en las márgenes de la quebrada Andadén. Son importantes los depósitos aluviales y coluvio-aluviales que se encuentran en ambas márgenes de la Quebrada Andaden, los cuales presentan deslizamientos rotacionales.

3.7.2.1 Depósitos Aluviales (Qh – al)

Los depósitos aluviales están ubicados en la parte media e inferior de las márgenes de las quebradas está conformado por arcillas y limos de alta plasticidad, y gravas arcillosas.



Foto 3.6. Depósitos Aluviales en la margen Izquierda de la Microcuenca conformados por gravas englobados en una matriz limo-arcillosa.

3.7.2.2 Depósitos Coluvio - aluviales (Qh – Co-al)

Los depósitos coluvio-aluviales se presentan en las laderas de los cerros, conformado por materiales erosionados que no han sido transportados, y con presencia de suelos finos - orgánicos en la parte superior de estos depósitos. Se muestran como una combinación entre bloques sub redondeados y bloques ligeramente angulosos.

Todos los depósitos se componen de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.



Foto 3.7. Depósitos Coluvio-aluviales conformado por bloques sub-angulosos y redondeados en una matriz limosa.

3.8 GEOMORFOLOGÍA

3.8.1 Unidades Morfogenéticas (UM)

Las Unidades Morfogenéticas (UM) o geoformas se han definido siguiendo la clasificación de Rodríguez (2016), las cuales están directamente relacionadas con los procesos de erosión y acorde con su génesis, edad de las rocas, geometría y tipo de relieve.

El cuadro siguiente muestra la clasificación que se utiliza para el presente estudio, dada según el relieve, correspondiendo a cada tipo de relieve su cuantificación geométrica (según la variación de pendiente).

Tabla 3.2. Clasificación para Unidades Morfogenéticas (UM)

| TIPO DE RELIEVE | GEOMETRÍA | LITOLOGÍA | ORIGEN | EDAD DE LA LITOLOGÍA | | |
|---------------------------|-----------|---------------------------|--|----------------------|-------|------|
| | | | | PERIODO | EPOCA | EDAD |
| UNIDAD MORFOGENETICA (UM) | PENDIENTE | ASOCIADA A SU COMPOSICION | ASOCIADO AL EVENTO O PROCESO GEOLOGICO | | | |
| Planicies | 0° - 8° | | | | | |
| Lomadas | 8° - 20° | | | | | |
| Laderas | 20° - 50° | | | | | |
| Escarpas | > 50° | | | | | |

Fuente. Rodríguez, 2016.

La clasificación, por su sintetismo, es idónea cuando se tiene como objetivo estudiar el comportamiento geodinámico de una zona de interés reducida.

Las unidades morfogenéticas presentes en el área de estudio se muestran en la Tabla N° 3.3 y en el Plano 05 (Unidades Morfogenéticas y Pendientes); y se describen a continuación:

3.8.1.1 Planicies

Rodríguez (2016) define a las planicies como aquellas superficies bastante homogéneas, poco cambiante en su morfología, ligeramente onduladas, de poca erosión actual y fácil de manejar para actividades tanto agrícolas y ganaderas.

En la microcuenca de estudio las planicies están presente en la parte baja, y corresponde a las zonas más pobladas (Caserío Yanamango). Presentan poca erosión actual, aunque son propensas a inundaciones en época de lluvias. También existe una franja en la parte media alta, preponderante en el flanco derecho de la microcuenca que corresponde a esta clasificación.

En relación a la red hídrica, las planicies (rango de pendientes es de 0° a 8°) corresponden a la parte baja de la quebrada Andaden, que presenta en su cauce depósitos aluviales, que son producto de los procesos de erosión de las rocas del Cretácico inferior presentes en la zona de investigación y su utilización es para ganadería y sembríos.



Foto 3.8. Planicie Ubicada en la parte baja de la Microcuenca Yanamango

3.8.1.2 Lomadas

Las lomadas tienen pendientes suaves que oscilan entre 8° y 20° con geoformas de tendencia cómica, pequeñas elevaciones homogéneas y se caracterizan por ser elevaciones que no sobrepasan los 200 metros de altura según Rodríguez (2016).

Dicho rango de pendientes permite que en la microcuenca estas áreas sirvan como terrenos agrícolas, y son usados también para pastoreo y ganadería, actividad agrícola predominante en la microcuenca de estudio. Litológicamente se encuentra en las Formaciones Chimú y Santa del Cretácico Inferior, distribuyéndose mayormente en el flanco izquierdo de la quebrada Andaden.



Foto 3.9. Lomadas en la margen Izquierda de la Microcuenca

3.8.1.3 Laderas

Las laderas son geoformas inclinadas de una cadena montañosa según Dávila (2011); sin embargo, Rodríguez (2016) hace una precisión cuantitativa que permite identificar mejor a esta unidad morfogenética, definiendo como laderas a superficies inclinadas con promedios de 200 a 300 metros de altura desde la base al tope, y pendientes entre 20° a 50° y que pueden afectar a cualquier tipo de litología.

En el área de estudio la presencia de laderas es mayoritaria en la zona media alta de la microcuenca y ocupa indistintamente todas las formaciones geológicas del Cretácico inferior que afloran en la microcuenca (Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat) asimismo depósitos cuaternarios.



Foto 3.10. Laderas con ángulos de 20° y 50° respectivamente en las márgenes de la quebrada Principal.

3.8.1.4 Escarpas

Esta Unidad Morfogénica se puede definir de forma sucinta como un fuerte desnivel en los terrenos que delimita a dos superficies más o menos planas (Dávila 2011).

En la Microcuenca son los drenajes los principales agentes erosivos y que por su configuración hacen posibles estas geofomas en ambos flancos de los drenajes principales. Por ende y por la elevada inclinación de estas unidades morfogénicas (más de 50°) se tendrá gran tendencia a una mayor inestabilidad y se producirán deslizamientos y derrumbes en las zonas mencionadas.

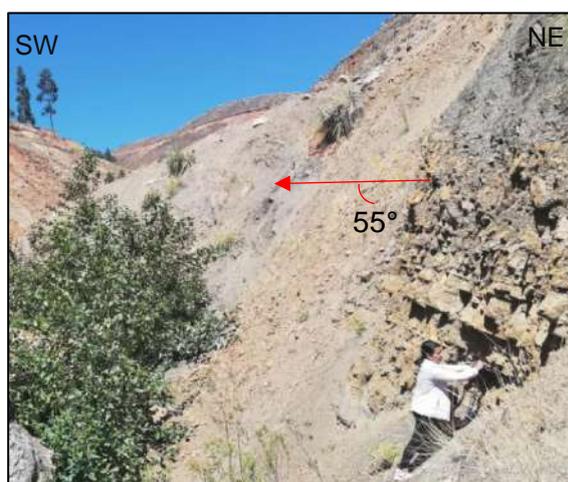


Foto 3.11. Escarpas que no generan deslizamiento debido a que su dirección de buzamiento es opuesta a la dirección de talud.

Las Unidades Morfogénicas encontradas se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Unidades Morfogénicas para la Microcuenca

| TIPO DE RELIEVE | GEOMETRÍA | LITOLOGÍA | ORIGEN | EDAD DE LA LITOLOGÍA | | |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------|--|----------------------|----------|--------------|
| | | | | PERIODO | ÉPOCA | EDAD |
| UNIDAD MORFOGENÉTICA (UM) | PENDIENTE | ASOCIADA A SU COMPOSICIÓN | ASOCIADO AL EVENTO O PROCESO GEOLÓGICO | | | |
| Planicies, Lomadas, Laderas, Escarpas | 0° - 56° | Depósitos al | Transportado | Cuaternario | Pl-Ho | |
| Lomadas, Laderas | 8° - 32° | Depósitos co-al | Transportado | Cuaternario | Pl-Ho | |
| Planicies, Lomadas Laderas, Escarpas | 4° - 55° | Fm. Farrat | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Aptiano |
| Planicies, Lomadas Laderas, Escarpas | 0° - 60° | Fm. Carhuaz | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Barremiano |
| Planicies, Lomadas Laderas | 0° - 45° | Fm. Santa | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Valanginiano |
| Planicies, Lomadas laderas, Escarpas | 15° - 38° | Fm. Chimú | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Valanginiano |

Fuente. Adaptado de Rodríguez, 2016.

3.8.2 Unidades Geomorfológicas Altitudinales

Los eventos geodinámicos encontrados en el área de investigación están comprendidos entre las cotas 2800 y 3300 según se presenta en el Plano Altitudinal (Plano 06) dicha distribución se presenta bastante homogénea con respecto a los niveles altitudinales, por lo que se consideró dicha zonificación considerando litología, las pendientes y los eventos geodinámicos.

ZONA I

Se encuentra entre las cotas 2660 y 2800 msnm ubicándose en la parte baja de la microcuenca, con una pequeña extensión y en los planos aparece de color verde. Litológicamente comprende depósitos cuaternarios de tipo aluvial, correspondiendo a planicies y lomadas, con pendientes de 2° hasta 15° aproximadamente.

ZONA II

Se ubica en el intervalo 2800 y 3300 msnm. Es la zona más amplia de toda la microcuenca con una extensión bastante amplia ubicada en la parte media y se presenta en color celeste. Litológicamente está constituida por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat recubiertas por depósitos aluviales y coluvio-aluviales. En esta zona se encuentran todos los eventos geodinámicos. Las pendientes en esta zona están en el rango de 10° a 45° aproximadamente.

ZONA III

Constituida entre las cotas 3300 y 3680 msnm, zona ubicada en la parte alta de la microcuenca al SW del punto de aforo está representado por el color melón. Su litología está caracterizada en cierta parte por las Formaciones Chimú, Santa Carhuaz y Farrat en donde no existe mayor incidencia de eventos geodinámicos. Sus pendientes van desde 5° a 30° aproximadamente es decir morfología de planicies, lomadas y laderas.

3.8.3 Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca Yanamango

3.8.3.1 Parámetros Básicos

Área (A):

Según el cuadro 2.1 la unidad hidrológica en estudio por su tamaño es una microcuenca debido a que su área es de 7.08 km² (el área es < 40 km²).

Perímetro (P) (km)

La Microcuenca Yanamango presenta un perímetro de 13.40 km.

Longitud del Cauce Principal (L en Km):

La longitud del cauce principal es de 6.05 km.

Desnivel Altitudinal (DA en m): Su medida es $HM - Hm$ en msnm (m).

La Microcuenca presenta un desnivel de 1020m, lo que nos indica que la zona estudiada posee una regular variedad climática, esto es porque presenta una diversidad de pisos altitudinales, con diferentes ecosistemas.

Grado de Ramificaciones o Sistema de Drenaje:

Ordenes de Ramificaciones (Oi)

El área estudiada presenta un orden tres de ramificación, confirmando que se trata de una Microcuenca.

Número Total de Cursos o Ríos (NTc) y Longitud Total de Ríos (Li en Km):

La Microcuenca presenta un total de 27 drenajes, quienes en su mayoría lo conforman drenajes de orden uno (19 ríos), 7 drenajes de orden dos y 1 drenaje de orden 3. Todos los drenajes suman una longitud total de 18.36 km.

3.8.3.2 Parámetros Fundamentales

Parámetros de Drenaje:

Densidad de Drenaje (Dd en Km / Km²)

La Microcuenca presenta una densidad de 2.59 km/km² el cual la ubica dentro del tipo moderado (según cuadro 2.2.); por lo que tiene una eficacia regular o un regular potencial erosivo; lo que junto con la litología ayudan a formar la red de drenaje de la Microcuenca. Además, nos indica que estamos en una Microcuenca bien drenada, con un regular influjo de la precipitación, debido a la presencia en la mayor parte de ésta, de suelos fácilmente erosionables y a la poca cobertura vegetal.

Extensión Media de Escurrimiento Superficial (Es en Km)

La extensión media del escurrimiento superficial es 0.10 km, lo que nos indica que los ríos de la Microcuenca en análisis presentan una extensión promedio muy corta y que al nacer un río, rápidamente este alimenta a otro de orden superior o concluyen con otros del mismo orden. Este parámetro muestra el predominio de los ríos de primer orden, ya que estos son los que poseen menor longitud.

Frecuencia de Ríos (Fr en Ríos/Km²)

De acuerdo a la frecuencia de los ríos (3.81 ríos/km²) concluimos que la zona es moderadamente drenada, básicamente esto puede deberse a la litología, geomorfología y estructuras presentes en el lugar.

Parámetros de forma:

Ancho Promedio de la Microcuenca (Ap en Km)

El ancho promedio de la Microcuenca es de 1.17 km, lo que con respecto a su longitud del río principal (6.05 km), es un valor medio. El agua debió seguir su curso por zonas propicias para este, hasta el río cajamarquino. En su recorrido se tropieza

con algunas rocas carbonatadas, estas según sus impurezas ayudaron a que el drenaje se extienda más en a la parte central que en sus extremos.

Factor de Forma (Ff)

El factor de forma es 0.19, según el cuadro 2.3. Indica que debe clasificarse cómo muy alargada, es decir que en el ancho ha sufrido un achatamiento, por esa razón es más larga que ancha. Este factor de forma también nos indica que nos encontramos ante una microcuenca alargada triangularmente, donde el colector principal es de mayor longitud que cualquiera de sus tributarios.

Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc adimensional)

El Índice de Gravelius es de 1.41, según este valor que la microcuenca tiende a ser de forma de oval oblonga y tiene una tendencia regular a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento y es de forma más o menos irregular.

Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca

Altitud Media

Con la altitud media (3222.6m.s.n.m.) decimos que la mayor parte de la microcuenca se encuentra en zonas altas, donde esto afectará al tipo de clima y a la frecuencia de lluvias.

Pendiente Media de la Subcuenca (Ip)

La Pendiente media de la microcuenca es 0.71 refleja un relieve escarpado, que adicionado a fenómenos de precipitaciones violentas y/o prolongadas hacen muy notorio el poder erosivo de la microcuenca; asimismo influye en la velocidad de desplazamiento del flujo, adquiriendo una velocidad de flujo media - alta.

Polígono de Frecuencia de Altitudes

Con el polígono de frecuencias nos damos cuenta de la distribución de áreas debidos a las altitudes, ello nos lleva a ver que existen varios pisos altitudinales, y con ellos sus respectivos climas.

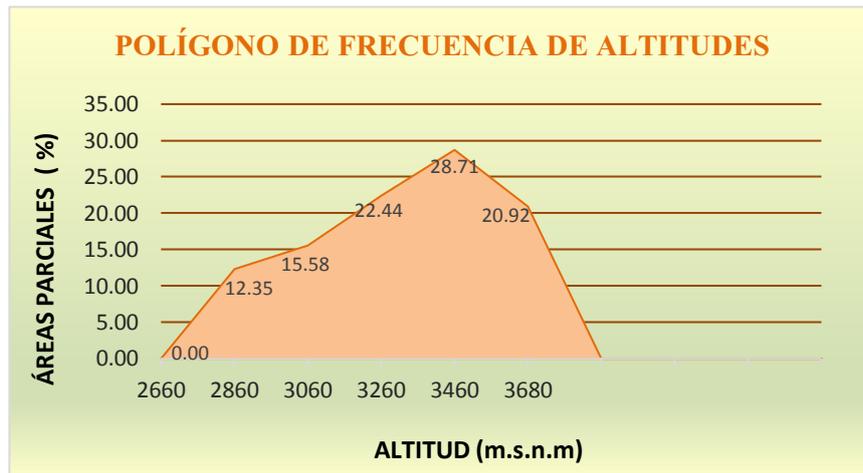


Figura 3.2 Polígono de frecuencia de Altitudes

Curva Hipsométrica

Con la curva hipsométrica vemos que la distribución del área drenada, varía con la altura de la superficie de la cuenca. En el fin de la microcuenca el área drenada es muy pobre (0%) y varía drásticamente al llegar al inicio la de la misma donde la parte drenada representa un 100%. Si convertimos la curva hipsométrica en una función adimensional, usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos nos da una idea de la edad relativa de la subcuenca, a lo que deduce de la gráfica (ver Figura 3.2), que estamos en presencia de una subcuenca relativamente joven, con potencial erosivo predominante en la media y media alta de la microcuenca, es decir el grado de erosión es mayor en las partes más elevadas y va atenuándose en las partes más bajas donde predomina los procesos de sedimentación (en las zonas donde están presentes los depósitos aluviales, coluviales y coluvio-aluviales).

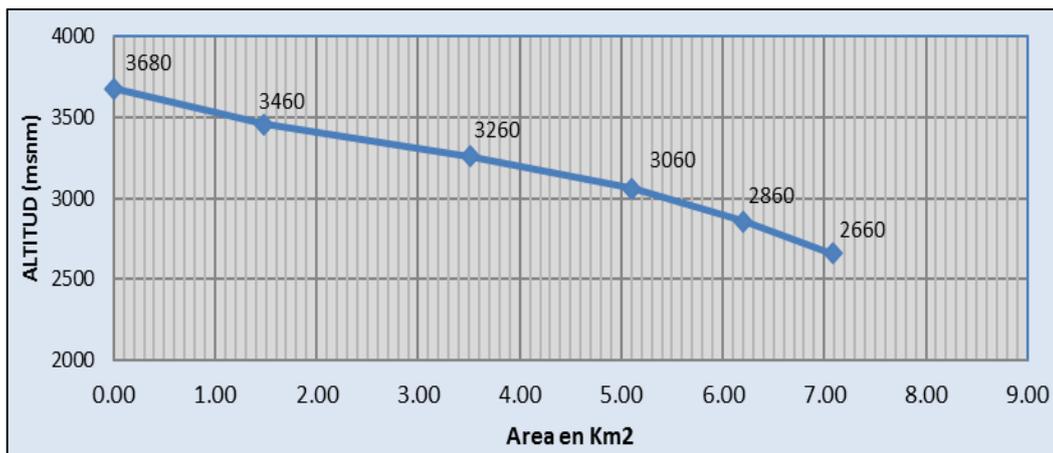


Figura 3.3. Curva Hipsométrica Adimensional

Parámetro del Rectángulo Equivalente

El lado mayor se calculó en 5.38 y el menor en 1.31, confirmando los índices anteriores (como el índice de Gravelius), que muestran que se trata de una microcuenca que tiende a ser alargada.

Pendiente Media del Río

La pendiente media del río es 0.19 m/Km y nos muestra que la infiltración en la zona es relativamente considerable, pues al ser la pendiente baja, el agua se infiltra con facilidad. Si tenemos en cuenta que la pendiente media de la microcuenca es considerablemente superior a la del drenaje principal, concluimos que las condiciones de relieve permiten un alto potencial erosivo y el drenaje principal permite a su vez mayor infiltración, es decir se unen dos factores detonantes para los deslizamientos y otros procesos geodinámicos que se ven reflejados en la cantidad considerable de deslizamientos de diversa magnitud a lo largo de ambos flancos del drenaje principal.

Declive Equivalente Constante

El valor del declive equivalente constante es 0.14 y nos indica que el escurrimiento en la zona es menor velocidad pues a mayor declividad habrá mayor velocidad de escurrimiento.

Perfil Longitudinal

El perfil longitudinal, como la mayoría de ellos nuestra una forma cóncava; excepto en las partes altas y bajas, esto puede ser debido a la litología de la zona, es decir al afloramiento de rocas dura que distorsiona el perfil, haciendo aparecer en forma abrupta.

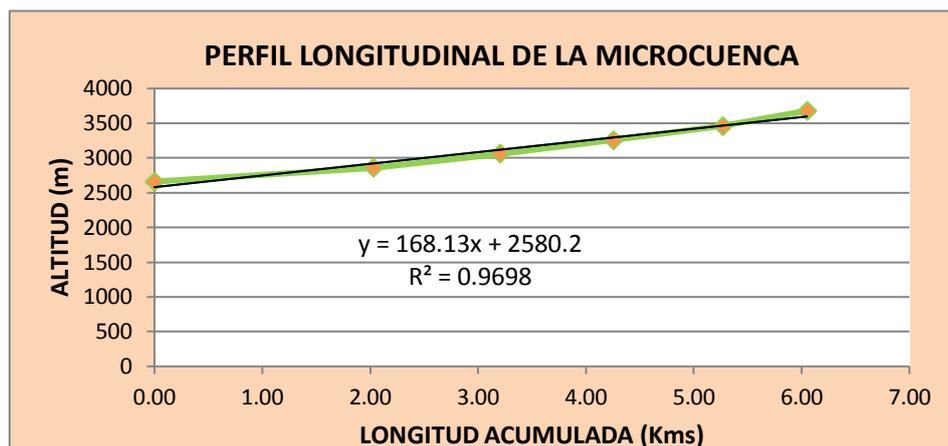


Figura 3.4. Perfil Longitudinal

Coefficiente de Torrencialidad

El coeficiente de torrencialidad de la microcuenca es de 2.68, lo que nos indica que el potencial erosivo de la microcuenca, posee un potencial erosivo considerable, esto se explica porque los cursos de primer orden (numerosos en la zona de estudio) son de origen erosivo, indica además la posibilidad de generación de flujos torrenciales y por ende de inundaciones de naturaleza aluvial.

Coefficiente de Masividad

La capacidad de erosión de una microcuenca, como se mencionó, está en función de la topografía, entre otros factores. Para comprender esta relación se ha calculado el coeficiente de masividad, que representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie. Este índice toma valores altos en zonas cuencas montañosas y bajos en áreas llanas. El resultado es de 455.11 m/km², lo que indica nuevamente un relieve accidentado favorable para procesos erosivos.

Los parámetros geomorfológicos y cálculos obtenidos de la Microcuenca Yanamango se resumen en la Tabla 3.4, donde resalta el área menor a 40 km² y encontramos tercer orden de drenaje. Debemos considerar que se han denominado parámetros geomorfológicos por investigadores en Geotecnia, Hidráulica e Ingenieros Civiles, en razón que muchos de ellos corresponden a condiciones Hidráulicas y proyectos civiles, por lo cual se consideran de manera general como parámetros geomorfológicos debido a la relación morfología-hidráulica.

Tabla 3.4. Parámetros Geomorfológicos de la Microcuenca Yanamango

| PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS | | | | | | |
|--|--|----------------|-----------------------------|-----------------------|----|----------|
| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | COD. | UNID. | MICROCUECNA YANAMANGO | | |
| | | | | VALORES | | |
| PARÁMETROS BÁSICOS | | | | | | |
| 1 | ÁREA | A | Km ² | | | 7.08 |
| 2 | PERÍMETRO | P | Km | | | 13.40 |
| 3 | LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL | L | Km | | | 6,049.83 |
| 4 | DESNIVEL ALTITUDINAL | DA | msnm | | | 1,020.00 |
| 5 | GRADO DE RAMIFICACIONES | | | O _i | | |
| | | | Km | 1 | 19 | |
| | | | Km | 2 | 7 | |
| | | | Km | 3 | 1 | |
| | Numero Total de cursos o rios : N _{Tc} | | Cantid | | 27 | |
| | Longitud Total de Rios : L _i | | Km | | | 18.36 |
| PARÁMETROS FUNDAMENTALES | | | | | | |
| Parámetros de Drenaje | | | | | | |
| 6 | DENSIDAD DE DRENAJE | D _d | Km/Km ² | | | 2.59 |
| 7 | EXTENSION MEDIA DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL | E _s | Km | | | 0.10 |
| 8 | FRECUENCIA DE RIOS | F _r | Rios/Km ² | | | 3.81 |
| Parámetros de Forma | | | | | | |
| 9 | ANCHO PROMEDIO DE LA SUBCUENCA | A _p | Km | | | 1.17 |
| 10 | FACTOR DE FORMA | F _f | | | | 0.19 |
| 11 | COEFICIENTE DE COMPACIDAD O INDICE DE GRAVELIUS | K _c | | | | 1.41 |
| Parámetros de Elevación del Terreno o Relieve de la Subcuenca | | | | | | |
| 12 | ALTITUD MEDIA DE LA SUBCUENCA | H _m | msnm | | | 3,222.6 |
| 13 | METODO DEL INDICE DE PENDIENTE DE LA SUBCUENCA O PENDIENTE MEDIA DE LA SUBCUENCA | I _p | | | | 0.71 |
| 14 | POLIGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES | | | | | |
| 15 | CURVA HIPSOMETRICA | | | | | |
| Parametro del Rectangulo Equivalente | | | | | | |
| 16 | PARAMETRO DEL RECTANDULO EQUIVALENTE | | | | | |
| | | L | Km | | | 5.38 |
| | | I | Km | | | 1.31 |
| Parametro Declividad de los Cursos de Agua | | | | | | |
| 17 | PENDIENTE MEDIA DEL RIO | I _c | m/Km | | | 0.19 |
| 18 | DECLIVE EQUIVALENTE CONSTANTE | S | | | | 0.14 |
| 19 | PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUBCUENCA | | | | | |
| Parametro del Coeficiente de Torrencialidad | | | | | | |
| 20 | COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD | C _t | rios 1er Or/Km ² | | | 2.68 |
| Parametro del Coeficiente de Masividad | | | | | | |
| 21 | COEFICIENTE DE MASIVIDAD | C _m | m/Km ² | | | 455.11 |

3.8.4 Parámetros Sísmicos

Para realizar el análisis de sismicidad se requiere las componentes de sismicidad K_h y K_v que se obtienen del software LoadCap, considerando los diferentes parámetros que deben ingresarse en las pantallas del software como, Aceleración horizontal Máxima (0.35), Perfil Estratigráfico ($C=1.25$) y Amplificación Topográfica ($St=1.4$); cuyo resultado de los valores son: $K_h=0.2188$ y $K_v=0.1094$, los cuales indican que según las características propuestas la variable sismicidad tiene fuerte incidencia en los fenómenos geodinámicos de la Microcuenca Yanamango (ver. Figura 3.5)

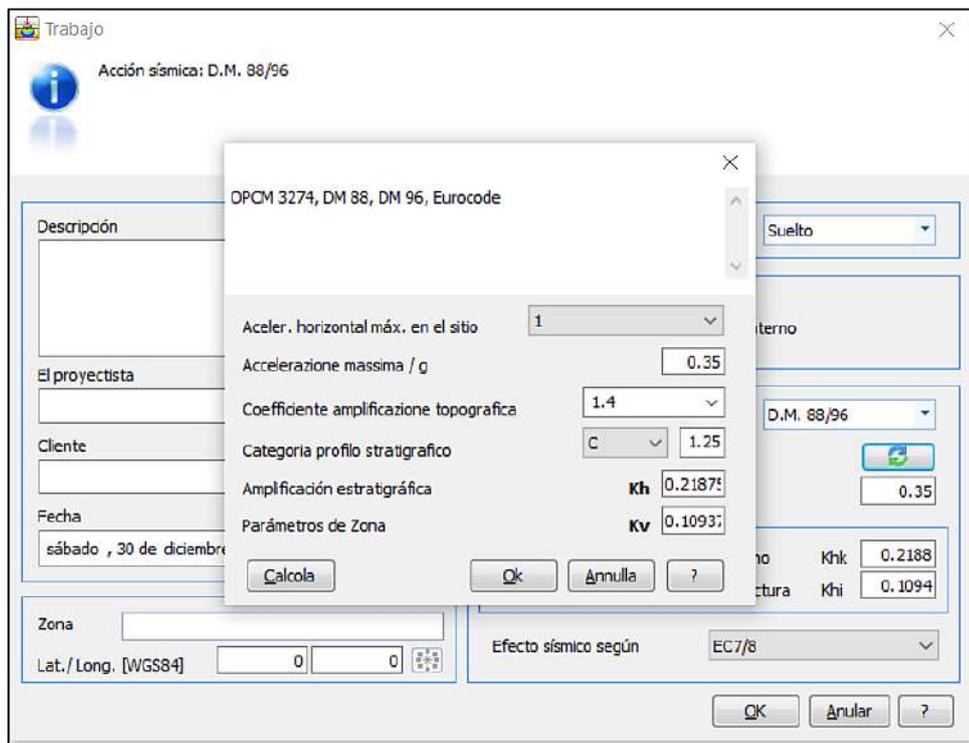


Figura 3.5. Pantallas Procesadas del Software LoadCap

3.9 HIDROLOGÍA

3.9.1 Quebrada Andaden

Es la quebrada principal de la Microcuenca con orden 3, posee una dirección SW – NE, atraviesa desde la parte más alta de la Microcuenca para finalmente desembocar sus aguas en el río Cajamarquino. Posee una longitud de 6050 metros y un ancho promedio de 7 metros. Según Landa Echevarría et al, corresponde a una llanura y terraza baja de inundación, caracterizada por su relieve plano e inundaciones estacionales. La quebrada Andaden tiene un régimen pluvial que se activa con las lluvias estacionales que se producen anualmente durante el invierno. Desde las zonas más altas de la cuenca se encuentran varios afluentes que lo convierte en el principal colector del drenaje en la zona.

En cuanto al régimen de precipitaciones, es muy variable para niveles altitudinales similares debido al efecto de las condiciones orográficas de la Microcuenca. Las precipitaciones generalmente son abundantes durante los meses de enero a abril.

En época de estiaje llegan a tener un caudal nulo como puede observarse en la Foto 3.12.



Foto 3.12. Quebrada Andaden sin agua en época de estiaje.

3.9.2 Precipitaciones

Es definida como un factor desencadenante en el análisis de inestabilidad de laderas y movimientos de masas, principalmente en el desarrollo de deslizamientos.

Las precipitaciones pluviales en la microcuenca se aprecian en dos periodos bien marcados durante el año. Uno durante los meses de octubre a abril, con una marcada intensidad en el mes de marzo y otro período de mayo a septiembre, en el cual hay ausencia de lluvias.

Para comprender los efectos de las precipitaciones sobre las Unidades lito-morfoestructurales (término utilizado por Mendivil, 1979) se obtuvo la data de precipitaciones entre el año 1970 y 2019 de la estación más cercana a nuestra zona de investigación, en este caso la Estación Meteorológica Augusto Weberbauer - UNC cuyos datos de posición se encuentran en el Cuadro 3.1; data que fue recalculada para la Microcuenca Yanamango mediante la fórmula de transposición de precipitaciones de (Ortiz 2004), cuya hoja de cálculos se presenta en el Cuadro 3.2.

Tabla 3.5 Coordenadas Estación Augusto Weberbauer

| ESTACIÓN AUGUSTO WEBERBAUER | |
|-----------------------------|-----------|
| Este | 776891 |
| Norte | 9206960 |
| Altura | 2654 msnm |

Transposición de Datos de Precipitaciones Estación Weberbauer a la Microcuenca Yanamango

Para calcular el factor de transposición de precipitaciones primero se calculó a través de un análisis SIG la altura media de la microcuenca Yanamango cuyo valor correspondiente es 3,222.6 m.s.n.m. y también se obtuvo la altura de la estación Augusto Werberbauer mediante el GPS Garmin Etrex 30 en el Sistema UTM WGS 1984 tal dato se encuentra en la Tabla 3.5.

Los datos obtenidos de precipitación de la estación Augusto Weberbauer a una altitud de 2,654 m.s.n.m. se deben transponer a la microcuenca Yanamango mediante la Ecuación de Oswald (Ortiz 2004). El primer paso es la obtención del factor de transposición (Ft) que se obtiene de dividir el valor de la altitud media de la microcuenca a trasponer por la altitud de la estación de origen (Cuadro 3.1).

La Ecuación de Transposición de las precipitaciones se muestra a continuación:

$$PP = \frac{H}{H1} * PP1, \text{ donde:}$$

PP: Precipitación a la Altitud de la Microcuenca

PP1: Precipitación a la Altitud de la estación Weberbauer

H: Altitud Media de la Microcuenca a Trasponer (Yanamango)

H1: Altitud de la Estación de Origen (Estación Weberbauer)

Cuadro 3.1. Cálculo del Factor de Trasposición de Precipitaciones

| CÁLCULO DEL FACTOR DE TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIONES | | | | |
|---|-------------------------------|-----------|----------|--------|
| Estación Weberbauer (UNC) - a Microcuenca Yanamango | | | | |
| Ecuación de Oswald* | | | | |
| Lugar | Variable | Abrev. | Valor | Unidad |
| Microcuenca Yanamango | Altitud Media de Microcuenca | H | 3,222.60 | msnm |
| Estación Weberbauer | Altitud Estación Weberbauer | H1 | 2,654 | msnm |
| | | | | |
| Factor de Transposición | Ft | Ft (H/H1) | 1.21 | - |
| | | | | |
| Estación Weberbauer | Precipitación a la Altitud H1 | PP1 | 19.9* | mm |
| Microcuenca Yanamango | Precipitación a la Altitud H | PP | 24.2 | mm |
| | | | | |

* valor de precipitación correspondiente a Junio de 1970

Posteriormente cada valor de precipitación de la estación Weberbauer es multiplicado por el factor de transposición para obtener los nuevos valores de precipitación de la microcuenca Yanamango, que se presentan en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Registro de las precipitaciones en los años 1970 al 2019

| TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIÓN EST. WEBERBAUER A LA MICROCUENCA YANAMANGO | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|------|
| De Estación Weberbauer (UNC) Periodo 1970 - 2019 | | | | | | | | | | | | |
| Ciclos de Precipitación | AÑO ANTERIOR | | | | | | | AÑO POSTERIOR | | | | |
| | jun | jul | ago | set | oct | nov | dic | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY |
| PRECIPITACIÓN: 70 -71 | 24.2 | 3.9 | 3.0 | 22.1 | 125.1 | 62.4 | 65.7 | 70.9 | 118.8 | 334.8 | 66.4 | 9.7 |
| PRECIPITACIÓN: 71 -72 | 14.8 | 21.4 | 20.9 | 34.1 | 109.0 | 55.6 | 80.8 | 67.4 | 82.1 | 138.2 | 92.5 | 22.0 |
| PRECIPITACIÓN: 72 -73 | 5.3 | 4.1 | 25.0 | 35.2 | 38.1 | 80.8 | 61.0 | 115.8 | 86.0 | 112.3 | 123.4 | 28.9 |
| PRECIPITACIÓN: 73 -74 | 34.9 | 10.3 | 23.5 | 110.5 | 81.4 | 79.5 | 91.1 | 74.8 | 170.0 | 108.2 | 71.7 | 5.6 |
| PRECIPITACIÓN: 74 -75 | 21.0 | 7.9 | 33.1 | 47.0 | 85.9 | 66.9 | 93.3 | 116.1 | 190.0 | 245.3 | 83.6 | 81.1 |
| PRECIPITACIÓN: 75- 76 | 12.2 | 8.7 | 23.4 | 54.8 | 97.4 | 79.0 | 1.1 | 158.3 | 76.4 | 98.7 | 41.9 | 52.2 |
| PRECIPITACIÓN: 76 -77 | 27.9 | 0.1 | 5.4 | 15.0 | 39.1 | 86.9 | 53.9 | 157.7 | 177.8 | 172.3 | 51.7 | 31.0 |
| PRECIPITACIÓN: 77 -78 | 9.7 | 9.1 | 0.1 | 19.5 | 64.9 | 66.5 | 82.8 | 15.4 | 41.8 | 59.3 | 45.0 | 79.7 |
| PRECIPITACIÓN: 78 - 79 | 4.7 | 5.3 | 4.6 | 30.4 | 29.6 | 65.6 | 54.4 | 102.1 | 99.1 | 193.9 | 45.0 | 19.8 |
| PRECIPITACIÓN: 79 -80 | 2.2 | 9.1 | 19.1 | 40.8 | 29.6 | 31.9 | 56.6 | 42.4 | 51.5 | 78.9 | 35.6 | 8.4 |
| PRECIPITACIÓN: 80 - 81 | 15.1 | 3.9 | 8.1 | 2.8 | 158.3 | 134.8 | 129.6 | 95.0 | 226.5 | 128.3 | 40.9 | 17.8 |
| PRECIPITACIÓN: 81 -82 | 8.0 | 8.7 | 15.4 | 26.7 | 135.9 | 55.4 | 135.1 | 87.1 | 124.9 | 91.9 | 107.7 | 46.4 |
| PRECIPITACIÓN: 82 - 83 | 9.5 | 2.5 | 8.0 | 53.3 | 151.5 | 81.7 | 106.1 | 141.6 | 91.9 | 185.5 | 128.3 | 37.8 |
| PRECIPITACIÓN: 83 - 84 | 12.3 | 11.7 | 3.3 | 23.3 | 105.5 | 34.1 | 143.8 | 30.0 | 283.6 | 150.3 | 97.1 | 84.4 |
| PRECIPITACIÓN: 84 - 85 | 30.5 | 28.4 | 22.7 | 44.6 | 83.3 | 118.5 | 126.4 | 29.9 | 51.5 | 31.6 | 50.9 | 64.4 |
| PRECIPITACIÓN: 85 - 86 | 0.5 | 5.8 | 22.2 | 45.3 | 60.7 | 29.0 | 48.9 | 102.5 | 57.9 | 117.5 | 146.0 | 19.7 |
| PRECIPITACIÓN: 86 - 87 | 0.7 | 1.5 | 17.7 | 1.6 | 52.9 | 80.4 | 62.9 | 119.2 | 115.6 | 47.6 | 63.4 | 11.0 |
| PRECIPITACIÓN: 87 - 88 | 4.9 | 13.1 | 14.9 | 48.0 | 45.2 | 90.2 | 74.7 | 133.2 | 128.1 | 54.4 | 116.1 | 12.9 |
| PRECIPITACIÓN: 88 - 89 | 6.6 | 0.0 | 0.5 | 39.9 | 84.3 | 79.2 | 77.0 | 105.6 | 192.8 | 137.8 | 103.7 | 22.8 |
| PRECIPITACIÓN: 89 - 90 | 20.3 | 3.9 | 7.2 | 65.0 | 129.4 | 57.2 | 3.3 | 123.6 | 83.2 | 70.8 | 33.3 | 48.0 |
| PRECIPITACIÓN: 90 - 91 | 29.9 | 1.0 | 8.6 | 24.4 | 106.4 | 120.3 | 87.8 | 53.2 | 109.3 | 162.3 | 67.0 | 21.7 |
| PRECIPITACIÓN: 91 - 92 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 12.4 | 34.2 | 66.9 | 87.3 | 63.9 | 38.6 | 80.9 | 56.5 | 22.9 |
| PRECIPITACIÓN: 92 - 93 | 25.7 | 5.6 | 12.1 | 49.5 | 77.7 | 38.9 | 41.4 | 74.1 | 136.2 | 297.5 | 124.9 | 36.7 |
| PRECIPITACIÓN: 93 - 94 | 2.3 | 4.0 | 3.5 | 62.4 | 129.1 | 86.7 | 102.1 | 141.9 | 125.2 | 206.7 | 175.9 | 42.9 |
| PRECIPITACIÓN: 94 - 95 | 4.0 | 0.0 | 0.2 | 14.4 | 33.0 | 109.0 | 148.9 | 54.3 | 131.5 | 91.9 | 60.3 | 25.0 |
| PRECIPITACIÓN: 95 - 96 | 2.1 | 16.0 | 13.1 | 14.0 | 62.9 | 61.3 | 92.8 | 79.2 | 150.6 | 145.8 | 61.2 | 16.6 |
| PRECIPITACIÓN: 96 - 97 | 1.0 | 0.6 | 19.2 | 16.9 | 92.5 | 83.5 | 41.4 | 77.5 | 185.7 | 32.2 | 49.1 | 20.6 |
| PRECIPITACIÓN: 97 - 98 | 18.7 | 0.2 | 0.0 | 33.3 | 61.7 | 145.6 | 157.1 | 125.1 | 141.5 | 312.1 | 101.9 | 23.8 |
| PRECIPITACIÓN: 98 - 99 | 5.8 | 1.6 | 5.7 | 21.6 | 96.7 | 35.3 | 58.2 | 115.1 | 294.7 | 84.4 | 78.9 | 65.2 |
| PRECIPITACIÓN: 99 - 2000 | 27.7 | 26.8 | 0.0 | 98.8 | 26.3 | 93.5 | 82.8 | 55.9 | 197.1 | 153.4 | 93.9 | 49.2 |
| PRECIPITACIÓN: 2000 - 2001 | 19.0 | 2.6 | 16.3 | 68.7 | 12.0 | 54.0 | 148.5 | 232.2 | 122.4 | 279.5 | 69.5 | 58.5 |
| PRECIPITACIÓN: 2001 - 2002 | 2.9 | 16.9 | 0.0 | 41.8 | 56.1 | 113.4 | 110.4 | 32.8 | 72.9 | 161.6 | 93.8 | 28.0 |
| PRECIPITACIÓN: 2002 - 2003 | 10.7 | 13.0 | 4.1 | 17.8 | 109.6 | 121.3 | 104.5 | 62.1 | 74.6 | 125.8 | 51.1 | 37.3 |
| PRECIPITACIÓN: 2003 - 2004 | 27.1 | 2.2 | 12.9 | 18.0 | 55.9 | 77.5 | 98.0 | 43.8 | 123.9 | 69.1 | 54.1 | 51.5 |
| PRECIPITACIÓN: 2004 - 2005 | 2.6 | 16.8 | 35.7 | 23.1 | 77.0 | 112.4 | 150.2 | 103.1 | 65.2 | 165.9 | 65.6 | 8.8 |
| PRECIPITACIÓN: 2005 - 2006 | 5.5 | 0.7 | 4.2 | 37.9 | 112.1 | 36.4 | 106.6 | 101.0 | 123.4 | 242.0 | 94.2 | 9.3 |
| PRECIPITACIÓN: 2006 - 2007 | 29.0 | 2.2 | 7.4 | 40.8 | 15.4 | 73.3 | 99.2 | 115.8 | 21.3 | 221.5 | 135.4 | 35.2 |
| PRECIPITACIÓN: 2007 - 2008 | 1.7 | 13.0 | 7.8 | 14.1 | 144.4 | 118.5 | 83.5 | 97.4 | 161.9 | 143.8 | 120.4 | 27.6 |
| PRECIPITACIÓN: 2008 - 2009 | 18.8 | 2.8 | 14.2 | 42.2 | 117.2 | 87.5 | 41.8 | 219.4 | 90.6 | 134.2 | 95.7 | 51.2 |
| PRECIPITACIÓN: 2009 -2010 | 21.7 | 15.0 | 4.8 | 14.3 | 95.4 | 132.9 | 90.1 | 60.1 | 137.1 | 187.0 | 107.4 | 38.4 |
| PRECIPITACIÓN: 2010 - 2011 | 10.5 | 3.2 | 0.0 | 35.2 | 52.7 | 63.8 | 72.5 | 26.8 | 52.9 | 79.4 | 54.2 | 7.3 |
| PRECIPITACIÓN: 2011 - 2012 | 0.5 | 10.1 | 0.0 | 57.2 | 38.2 | 29.6 | 133.2 | 187.3 | 163.6 | 153.5 | 88.4 | 62.5 |
| PRECIPITACIÓN: 2012 - 2013 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 23.2 | 101.1 | 146.1 | 70.8 | 74.7 | 119.0 | 259.4 | 89.6 | 76.0 |
| PRECIPITACIÓN: 2013 -2014 | 9.1 | 6.9 | 10.8 | 4.5 | 134.4 | 20.6 | 63.0 | 90.7 | 75.8 | 173.9 | 95.7 | 32.7 |
| PRECIPITACIÓN: 2014 - 2015 | 6.1 | 2.4 | 4.7 | 33.6 | 32.0 | 55.5 | 139.5 | 224.3 | 67.3 | 245.5 | 76.5 | 92.1 |
| PRECIPITACIÓN: 2015 - 2016 | 3.6 | 5.3 | 0.1 | 33.8 | 20.4 | 116.1 | 116.2 | 100.5 | 87.1 | 65.9 | 47.2 | 5.5 |
| PRECIPITACIÓN: 2016 - 2017 | 6.8 | 0.1 | 0.5 | 22.9 | 58.8 | 18.2 | 158.0 | 140.0 | 51.7 | 245.8 | 119.0 | 40.8 |
| PRECIPITACIÓN: 2017 - 2018 | 41.9 | 0.0 | 25.6 | 16.0 | 95.6 | 41.5 | 131.1 | 72.7 | 117.4 | 134.7 | 75.5 | 73.0 |
| PRECIPITACIÓN: 2018 - 2019 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 32.2 | 80.3 | 134.3 | 98.7 | 57.1 | 187.2 | 260.1 | 64.2 | 33.1 |

Curvas de Precipitación Transpuestas en la Microcuenca Yanamango.

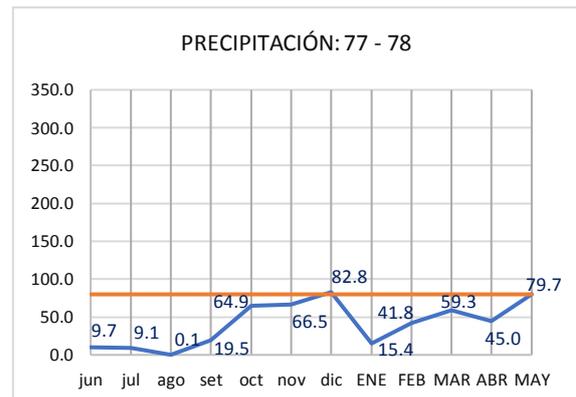
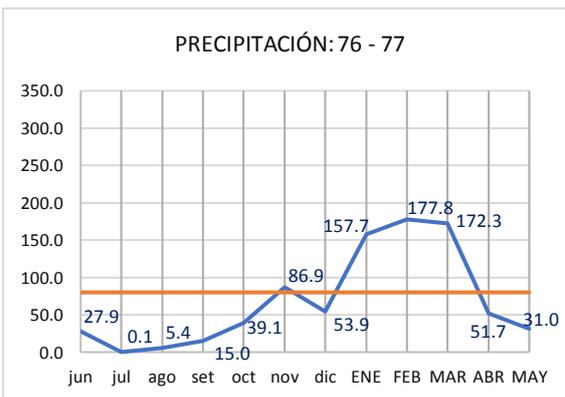
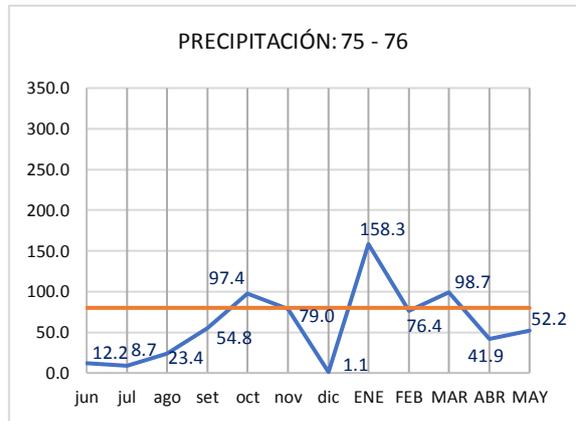
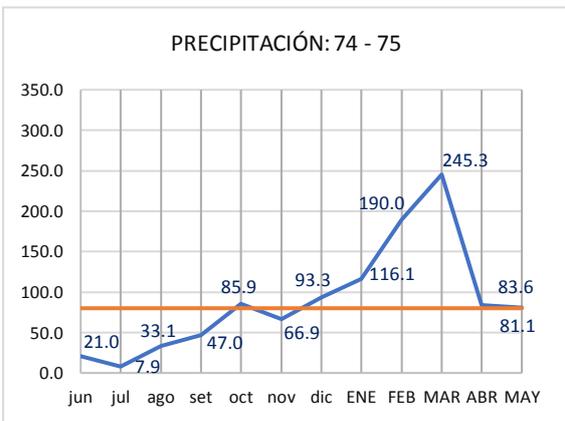
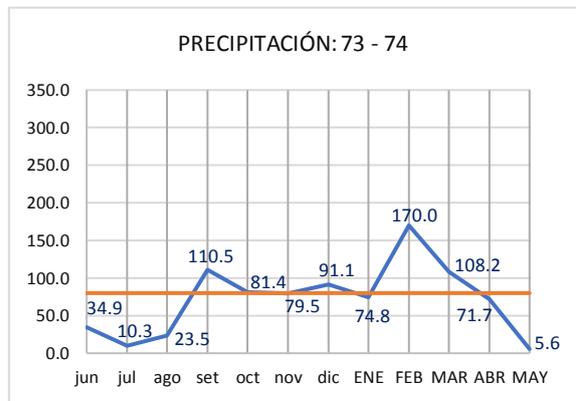
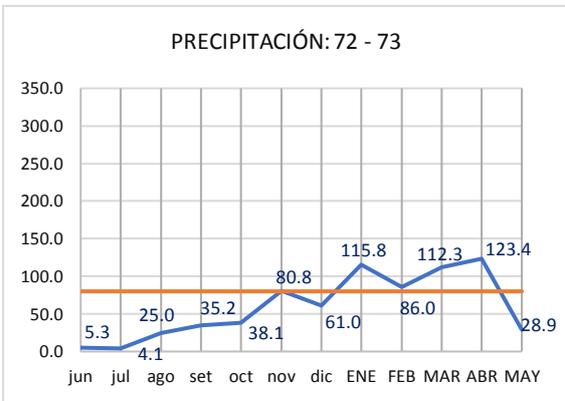
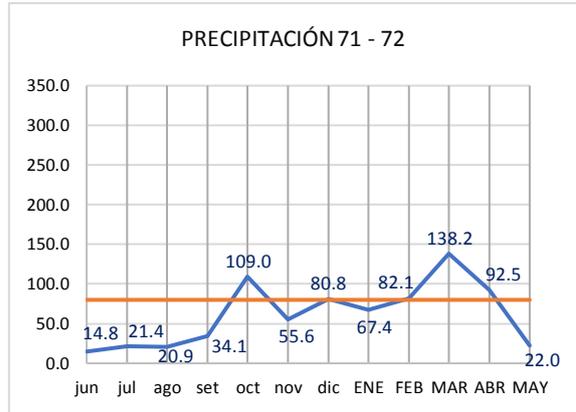
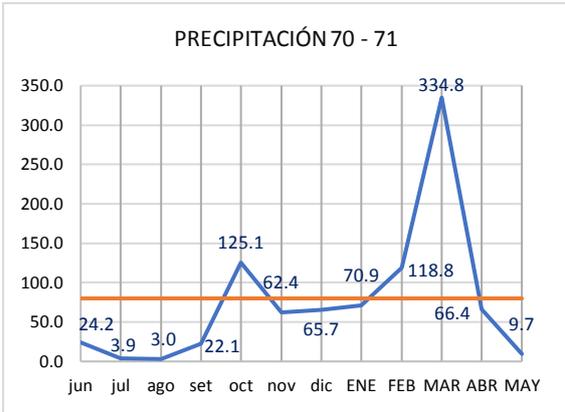
Todos los datos de las precipitaciones transpuestas a la microcuenca Yanamango se graficaron mediante el Software Excel por meses cada uno de los 49 años considerados para esta investigación, iniciando con un mes de pocas lluvias (junio del año anterior) pasando por los meses lluviosos hasta finalizar con un mes poco lluvioso (mayo del año posterior). Dicho ordenamiento proporciona curvas que muestran mejor la tendencia de los meses lluviosos hacia el centro de la curva. (Ver los Gráficos de Precipitación dese 1970 - 2019).

Para realizar las representaciones en Excel es necesario calcular la Línea de Precipitación Referencial Conservadora (LPRC), denominada así a la línea cuyo valor está constituido por el Promedio de Precipitaciones Anuales 1970-2019 ($X = 66.61 \text{ mm} \sim 67 \text{ mm}$), más la Desviación Estándar de dichos promedios ($DS = 14.25 \text{ mm} \sim 14 \text{ mm}$), (dichos valores se encuentran en el cuadro 4.1), totalizando 81 mm, valor que corresponde a Línea de Precipitación Referencial. En la presente investigación se considera 80 mm el valor de LPRC que corresponde a la línea naranja en cada gráfico.

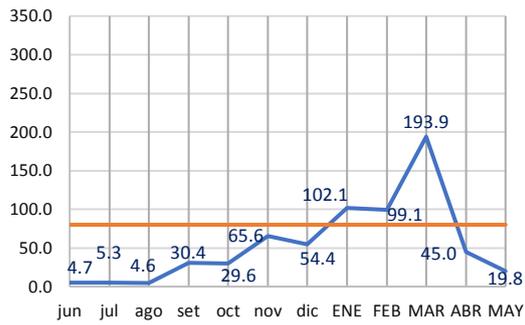
La LPRC tiene como objetivo proporcionar un valor límite hacia arriba para analizar el comportamiento de las curvas de Precipitación Mensual y observar cómo son sus tendencias mensuales por año (Ver gráficas 1970 - 2019).

La curva de PP 2018 - 2019 tiende a crecer desde el mes de agosto 2019 hasta marzo 2019, cayendo en enero y abril por debajo de la LPRC (80 mm) y decreciendo en mayo en forma similar (33.1 mm), con respecto al promedio de mayo del periodo 1970 - 2019.

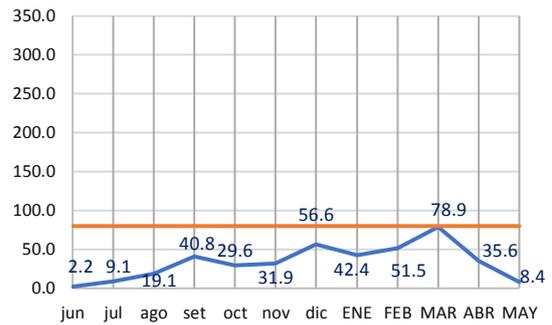
Representación de las 49 Curvas de Precipitación Anual desde 1970 – 2019.



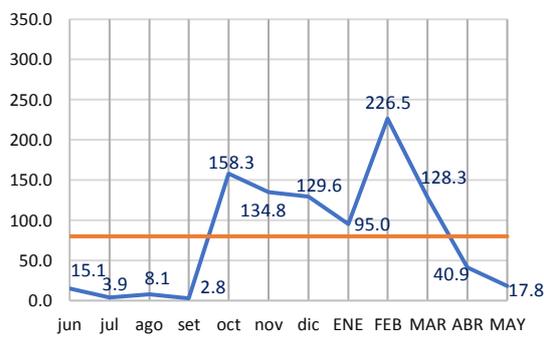
PRECIPITACIÓN: 78 - 79



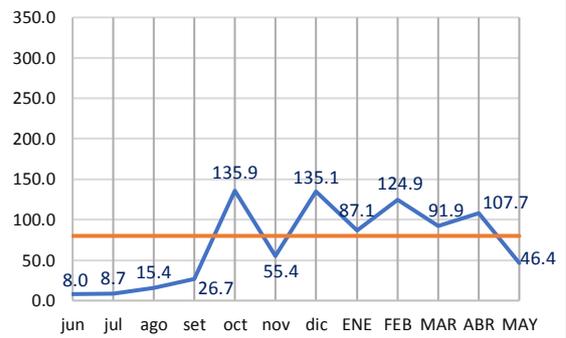
PRECIPITACIÓN: 79 - 80



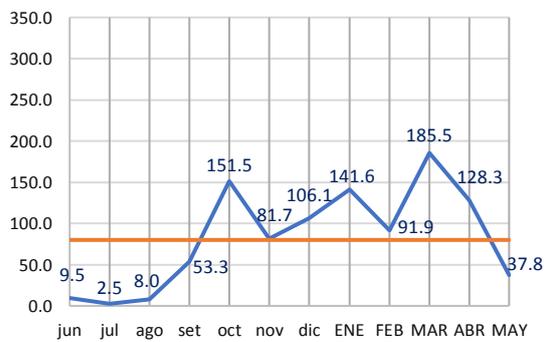
PRECIPITACIÓN: 80 - 81



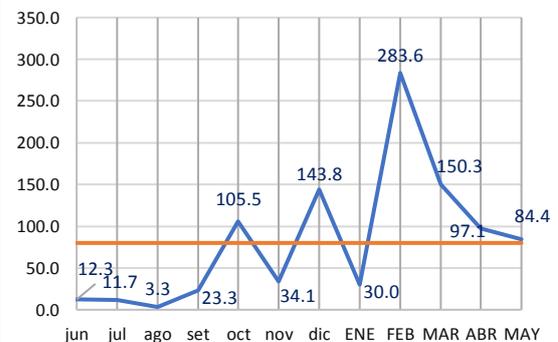
PRECIPITACIÓN: 81 - 82



PRECIPITACIÓN: 82 - 83



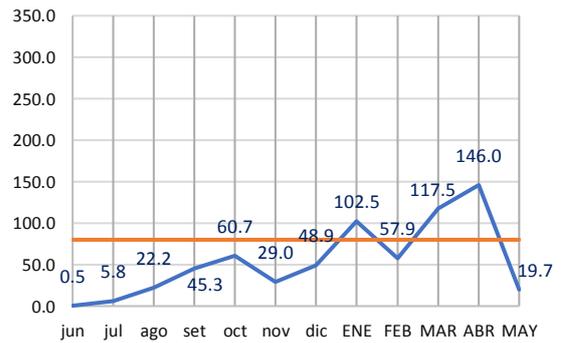
PRECIPITACIÓN: 83 - 84



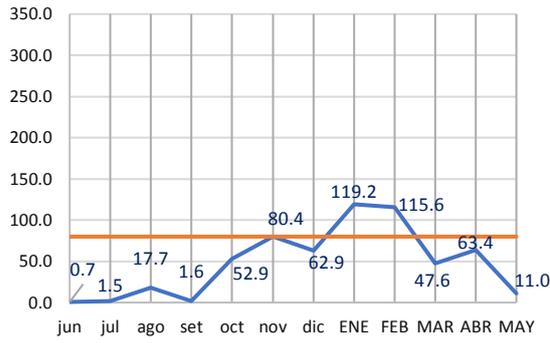
PRECIPITACIÓN: 84 - 85



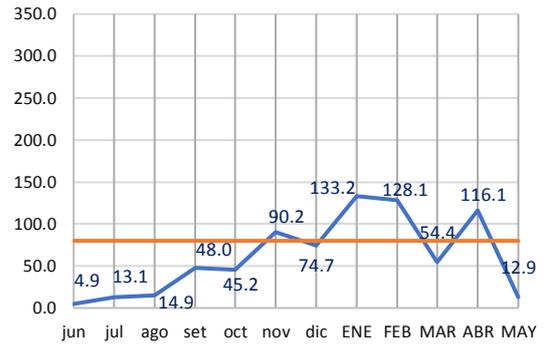
PRECIPITACIÓN: 85 - 86



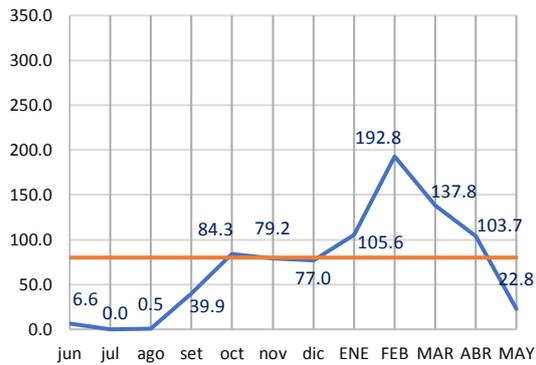
PRECIPITACIÓN: 86 - 87



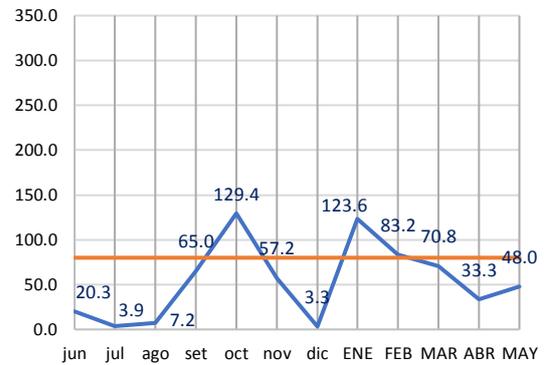
PRECIPITACIÓN: 87 - 88



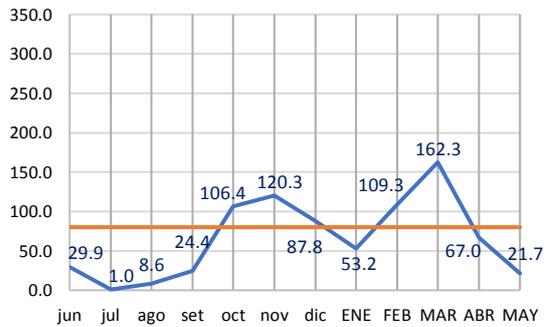
PRECIPITACIÓN: 88 - 89



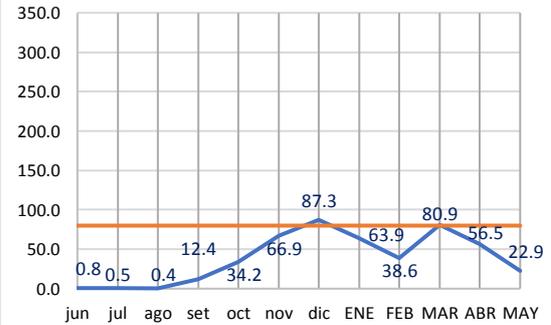
PRECIPITACIÓN 89 - 90



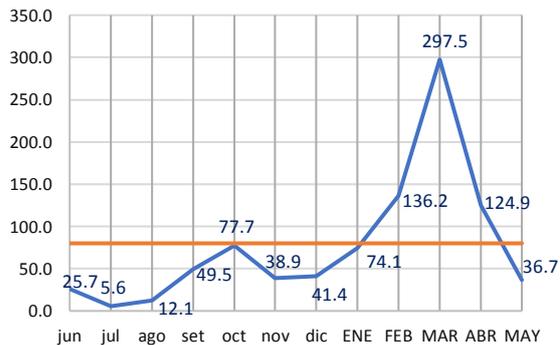
PRECIPITACIÓN 90 - 91



PRECIPITACIÓN 91 - 92



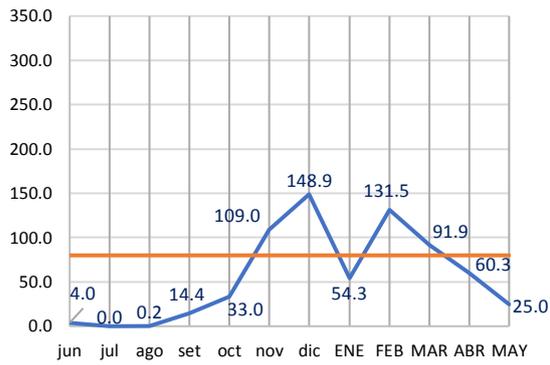
PRECIPITACIÓN: 92 - 93



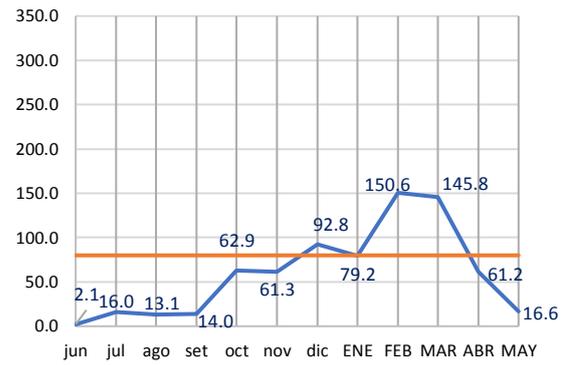
PRECIPITACIÓN 93 - 94



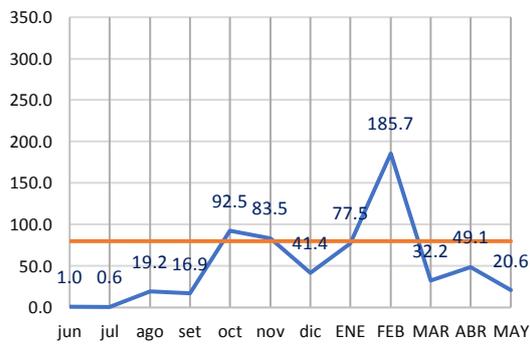
PRECIPITACIÓN 94 - 95



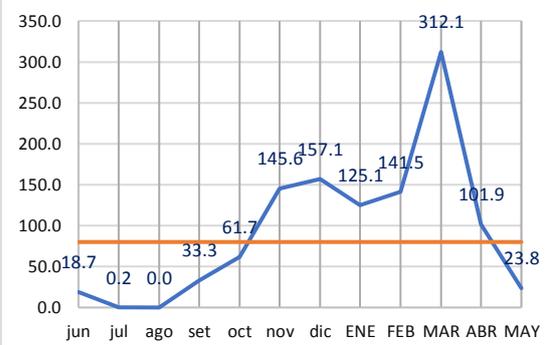
PRECIPITACIÓN 95 - 96



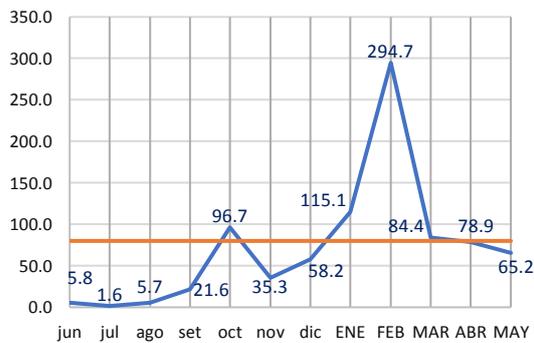
PRECIPITACIÓN: 96 - 97



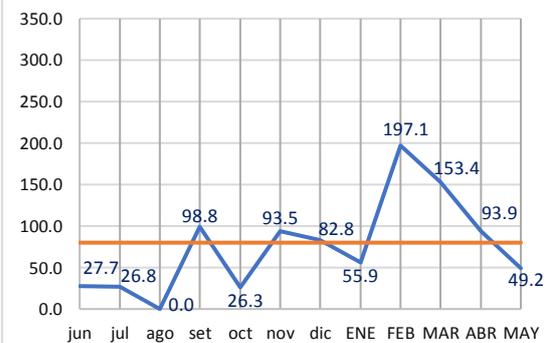
PRECIPITACIÓN: 97 - 98



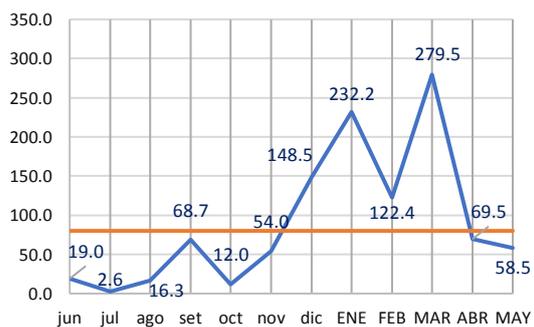
PRECIPITACIÓN: 98 - 99



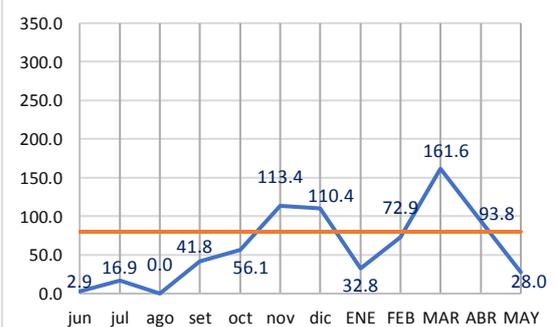
PRECIPITACIÓN: 99 - 2000



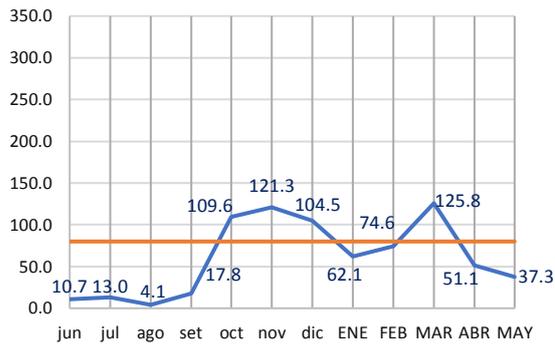
PRECIPITACIÓN: 2000 - 2001



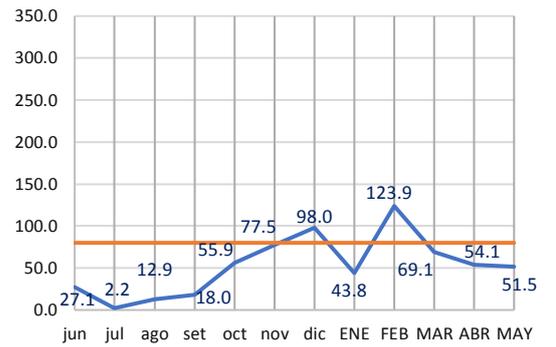
PRECIPITACIÓN: 2001 - 2002



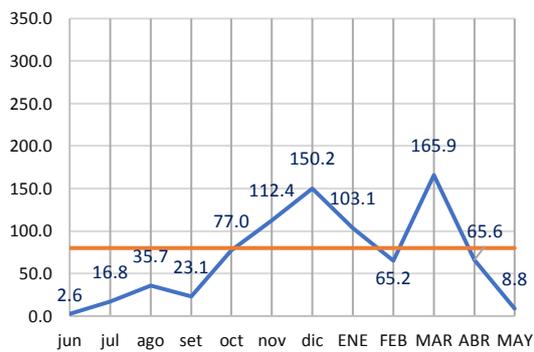
PRECIPITACIÓN: 2002 - 2003



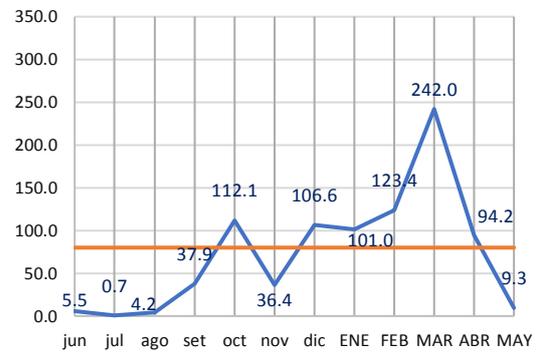
PRECIPITACIÓN: 2003 - 2004



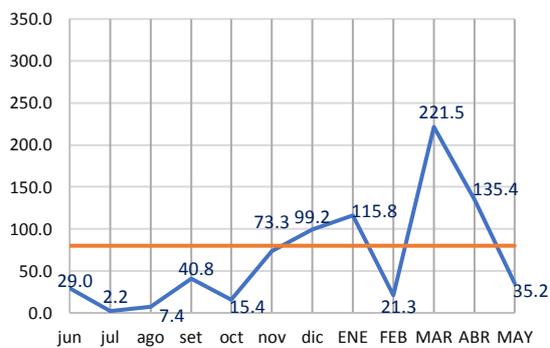
PRECIPITACIÓN: 2004 - 2005



PRECIPITACIÓN: 2005 - 2006



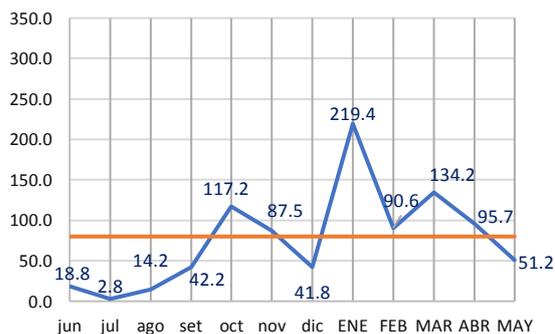
PRECIPITACIÓN: 2006 - 2007



PRECIPITACIÓN: 2007 - 2008



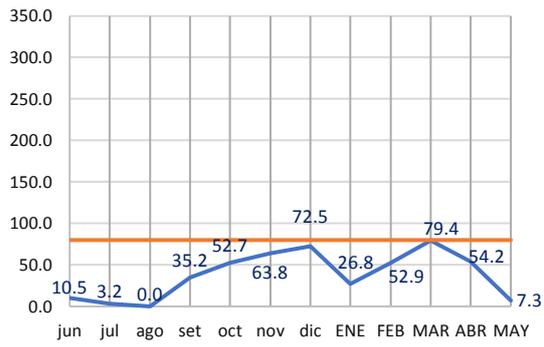
PRECIPITACIÓN: 2008 - 2009



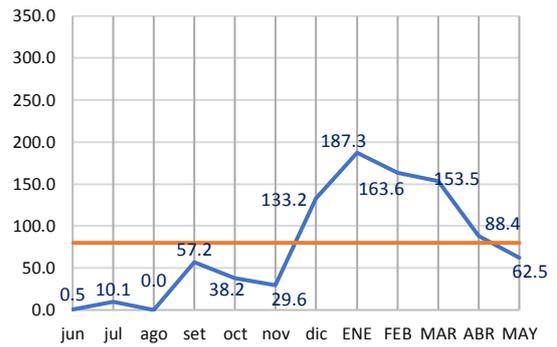
PRECIPITACIÓN: 2009 - 2010



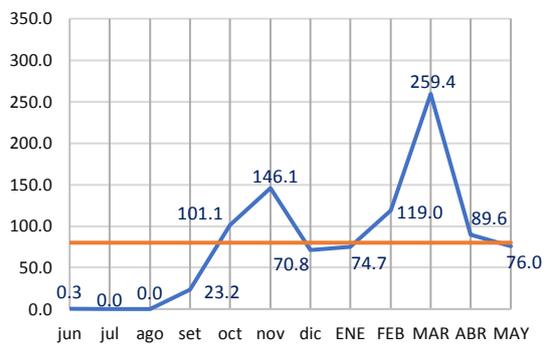
PRECIPITACIÓN: 2010 - 2011



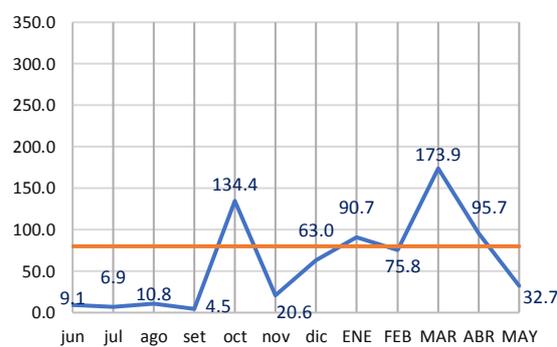
PRECIPITACIÓN: 2011 - 2012



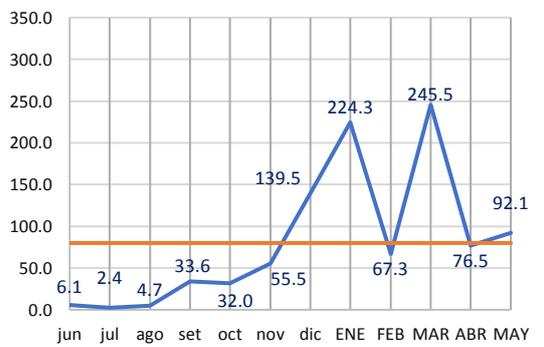
PRECIPITACIÓN: 2012 - 2013



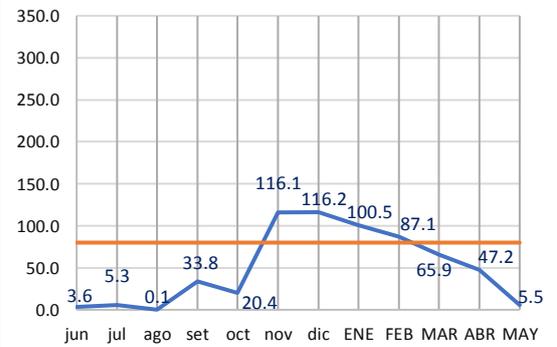
PRECIPITACIÓN: 2013 - 2014



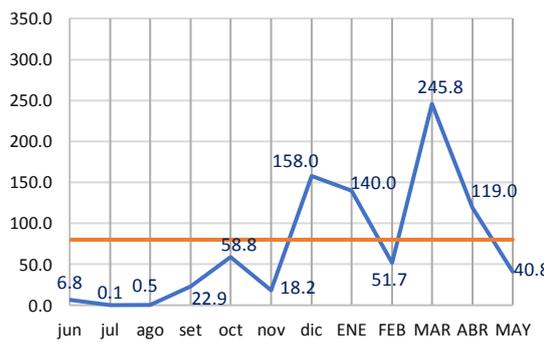
PRECIPITACIÓN: 2014 - 2015



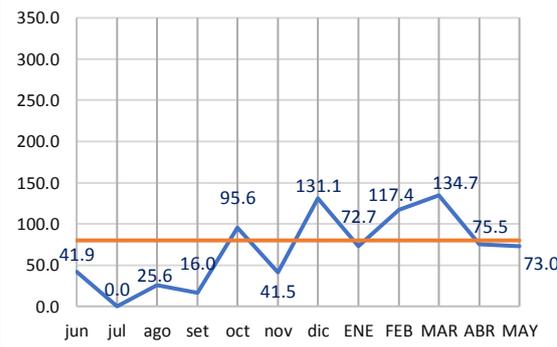
PRECIPITACIÓN: 2015 - 2016

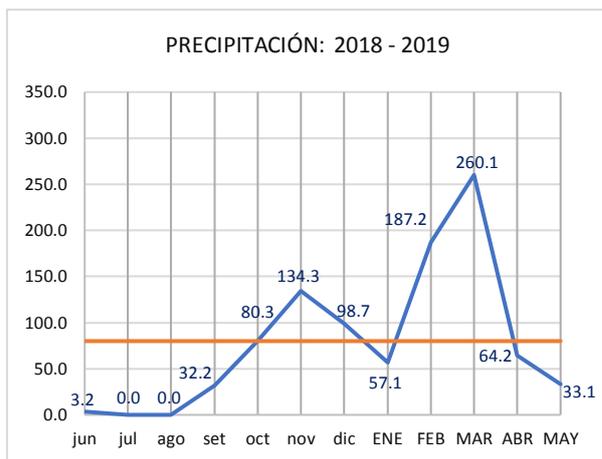


PRECIPITACIÓN: 2016 - 2017



PRECIPITACIÓN: 2017 - 2018





3.9.3 Escurrimiento e Infiltración

La base principal para obtener los parámetros de Precipitación Efectiva (P_e en mm) y la infiltración (F en mm) lo constituyeron los datos obtenidos de precipitación, además con dichos parámetros se logró calcular los volúmenes de Infiltración (VF) en la zona de investigación. Estos datos son indispensables para el análisis del comportamiento geodinámico del macizo rocoso y depósitos cuaternarios en el área de investigación y están relacionados con los parámetros geomorfológicos de la Microcuenca Yanamango.

La precipitación en la zona se muestra en dos épocas bien definidas: una de octubre a abril con la mayor precipitación correspondiente al 87.5% del total en 49 años para nuestros cálculos; y otra época con tendencia seca de mayo a septiembre con el 12.5 %.

El coeficiente de escurrimiento es de 0.7 en relación a los tipos de suelos existentes en la Microcuenca y considerando como fuente referencial los valores que proporciona Villón (2002) en su libro Hidrología donde indica que el coeficiente de escorrentía en terrenos cultivados, para suelos franco arenosos a franco arcillo limosos sería entre 0.50 a 0.70, considerándose el valor de 0.7 por las relaciones observadas en campo.

Una de las variables externas más importante que afecta la resistencia a la cohesión y el ángulo de fricción de las rocas y suelos de nuestra microcuenca es la infiltración, ayudada de la porosidad primaria y secundaria y es probablemente la

responsable de los eventos geodinámicos antiguos, intermedios y activadora de posibles deslizamientos en el futuro.

Con los datos obtenidos se realizó los cálculos de Balance Hidrológico para el área de investigación mostrados en el Cuadro 3.3, denominado Balance Hidrológico – Microcuenca Yanamango, mediante las fórmulas que se presentan a continuación:

$$PP = Pe + F,$$

PP = Precipitación Total.

Pe = Precipitación Efectiva (Escurrimiento).

F = Infiltración.

El Coeficiente de Escorrentía será: $C = Pe / PP = 0.70$, y el Coeficiente de Infiltración es: $Ci = 1 - C = 0.30$ (cálculos según Huamán, 2010)

Los cálculos están indicados con sus símbolos y fórmulas en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3

| BALANCE HIDROLÓGICO | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------|-------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| MICROCUECA YANAMANGO | | | | | | | | | |
| | | PP | C | Pe | F | F | VF | VF | |
| | | | $C=Pe/PP$ | $Pe=C*PP$ | $F=PP-Pe$ | $F=PP-Pe$ | $VF=F*A_{mc}$ | $VF=F*A_{mc}$ | |
| | | mm | | mm | mm | m | m ³ | MMC | |
| CICLOS DE PRECIPITACIÓN EN AÑOS | NÚMERO DE AÑOS POR CICLO | PRECIPITACIÓN TOTAL | COEF. ESCORRENTÍA | PRECIP. EFECTIVA O ESCURRIMIENTO (Pe) | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | |
| 1970 - 1973 | 3 | 2362 | 0.7 | 1653.32 | 708.56 | 0.71 | 5017338.442 | 5.02 | |
| 1973 - 1980 | 7 | 5011 | 0.7 | 3507.45 | 1503.19 | 1.50 | 10644107.93 | 10.64 | |
| 1980 - 1987 | 7 | 5695 | 0.7 | 3986.48 | 1708.49 | 1.71 | 12097817.03 | 12.10 | |
| 1987 - 1992 | 5 | 3488 | 0.7 | 2441.66 | 1046.43 | 1.05 | 7409748.97 | 7.41 | |
| 1992 - 1997 | 5 | 4012 | 0.7 | 2808.07 | 1203.46 | 1.20 | 8521693.67 | 8.52 | |
| 1997 - 2004 | 7 | 6069 | 0.7 | 4248.31 | 1820.70 | 1.82 | 12892398.83 | 12.89 | |
| 2004 - 2011 | 7 | 5617 | 0.7 | 3931.88 | 1685.09 | 1.69 | 11932136.56 | 11.93 | |
| 2011 - 2016 | 5 | 4187 | 0.7 | 2930.89 | 1256.09 | 1.26 | 8894396.857 | 8.89 | |
| 2016 - 2019 | 3 | 2638 | 0.7 | 1846.66 | 791.43 | 0.79 | 5604089.859 | 5.60 | |
| TOTAL | 49 | 39078 | 0.7 | 27354.72 | 11723.45 | 11.72 | 83013728.14 | 83.01 | |
| A_{mc} | Área de la Microcuenca en km ² | | | | | | 7.08 | | |
| | Área de la Microcuenca Yanamango en m ² | | | | | | 7080996.99 | | |

3.10 GEODINÁMICA EXTERNA

3.10.1 Factores Naturales Desencadenantes

Es necesario realizar el estudio de los diversos factores naturales detonantes con los cuales se encuentra relacionado los fenómenos de geodinámica externa como los deslizamientos existentes en la Microcuenca Yanamango con la finalidad de comprender la ocurrencia de deslizamientos y hacer una zonificación del área. Los factores naturales desencadenantes de la zona son: precipitaciones relacionadas a su vez con la infiltración y sismicidad.

3.10.2 Problemas de Geodinámica Externa de la Microcuenca

Como ya se mencionó, los movimientos en masa pueden ser diversos, en la microcuenca de estudio se identificaron principalmente deslizamientos y reptación de suelos siendo los deslizamientos los que predominan. A continuación, se describen los problemas de geodinámica externa encontrados en la Microcuenca y ciertos factores que específicamente lo producen.

Deslizamientos

En gran parte de la Microcuenca sobresalen los deslizamientos especialmente en la parte media afectando principalmente las laderas en las márgenes de la quebrada Andaden (ver Plano N° 07 – Geodinámico). A continuación, se presenta de manera detallada los deslizamientos encontrados.

Deslizamiento 01.

Es un deslizamiento de tipo rotacional en depósitos cuaternarios de tipo aluvial, con escarpa principal promedio de 2 metros con incremento desde el centro hacia sus extremos de 3 metros, con pendientes mayores a 45°. Movimientos de W a E en la margen izquierda de la quebrada Andaden. Podemos notar en la Foto 3.13 tomadas con una diferencia de tiempo de un año y medio aproximadamente en donde es

muy notorio el desarrollo del escarpe principal visible en la foto b por lo que se puede indicar que el deslizamiento es activo.

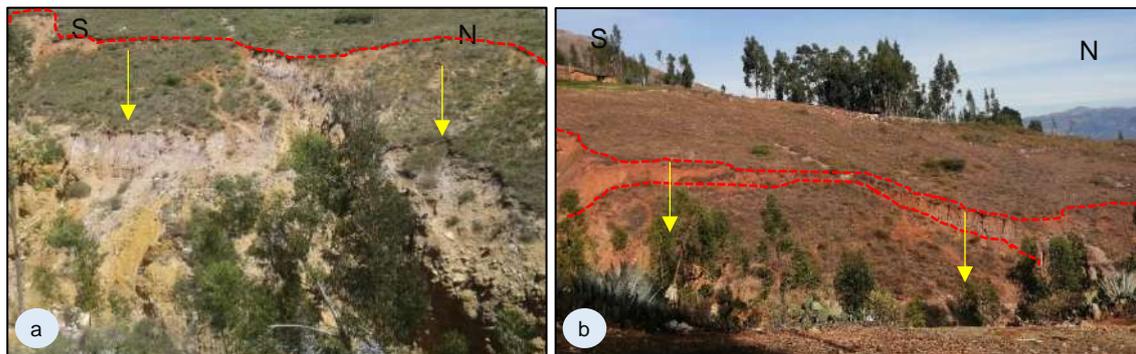


Foto 3.13. Deslizamiento Activo ubicado en el Caserío Pomabamba - Parte Media de la Microcuenca. Coordenadas: N:9198790 E: 784243 Cota:2799

Deslizamiento 02

Es un deslizamiento curvo cilíndrico, con una escarpa principal de 10m aproximadamente, se aprecia en la Foto 3.14 que se trata de un deslizamiento activo pues se observa en la Foto b que la corona ha ido ganando terreno afectando en esta área principalmente terrenos de cultivo y una vivienda ubicada a 25 metros. Presenta una longitud de masa desplazada de 60 metros entre las que se han ido formando terrazas con una pendiente promedio de 25° .

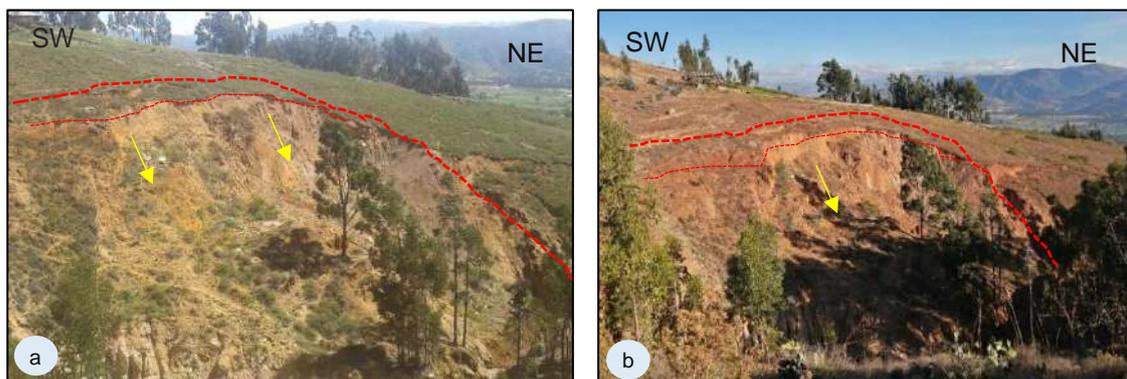


Foto 3.14. Deslizamiento rotacional Activo ubicado en el Caserío Pomabamba. Coordenadas: N: 9198740 E:784202

Deslizamiento 03 y 04.

Encontramos estos deslizamientos relativamente antiguos basados en la presencia de terrazas (ver Foto a y b). Los deslizamientos se ubican en la margen izquierda

de la quebrada Andadén, presentan características de deslizamiento rotacional con una escarpa curvo cilíndrica más notoria en el deslizamiento 03, además se observa ciertos surcos o pequeñas cárcavas producto de la acción de la meteorización. Podemos ver en la Foto “a” un eje de movimiento cercanamente a NW – SE y en la Foto “b” que corresponde al deslizamiento 04 un movimiento N–S (Ver Foto 3.15).

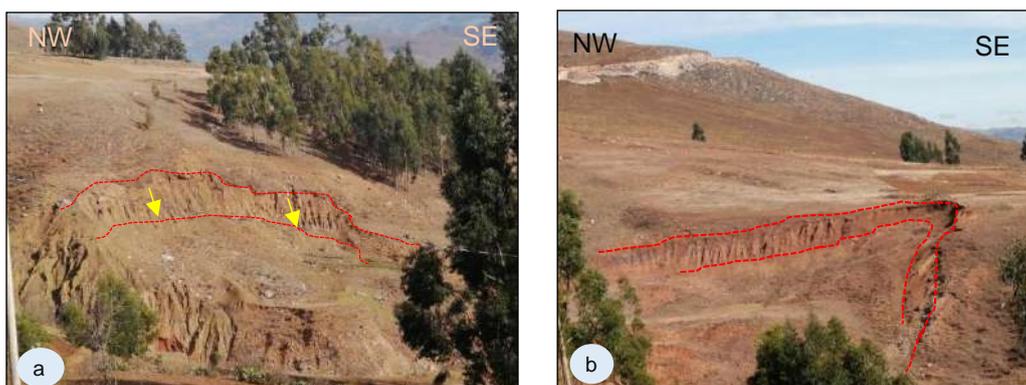


Foto 3.15. Deslizamientos ubicados en el margen izquierdo de la quebrada Andaden, Caserío Pomabamba. Coordenadas: N: 9198520 E:783918 Cota:2875

Deslizamiento 05.

Este deslizamiento está ubicado en la margen derecha y zona media de la Microcuenca; además, se encuentra en el corte de la carretera que une el CP La Huaraclla con la zona denominada El Gavilán, esta zona presenta características de alta inestabilidad debido a este deslizamiento presente y también son visibles algunas características de reptación como la inclinación de los árboles ubicados cerca de la corona (ver Foto 3.15). Se trata de un deslizamiento rotacional curvo y activo con movimiento de dirección aproximada S-N con una pendiente de 40°, cuyo material desplazado es constantemente retirado de la zona por los mantenimientos periódicos que se realizan en la carretera antes mencionada. Presenta una longitud entre sus extremos de 70 metros y una altura aproximada de 30 metros, su escarpa principal es de 1 metro en promedio. Una característica importante observable en campo con respecto a este deslizamiento es que el nivel freático está cercano al nivel de la carretera debido a que se observó una surgencia con un caudal aproximado de 0.1 litros (circulo celeste de la Foto “b” 3.16).

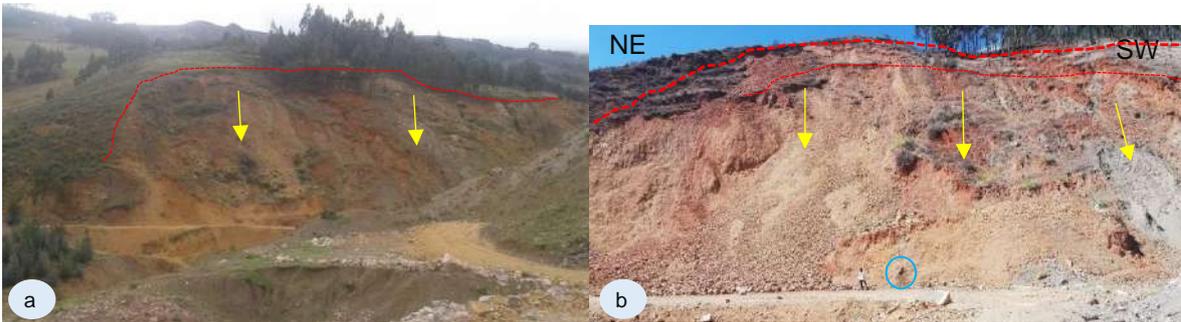


Foto 3.16. Deslizamiento Activo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Andaden, en la Foto b se observa en la base del deslizamiento la presencia de agua. Caserío Pomabamba. Coordenadas: N: 9198250 E:783305 Cota:2977

Deslizamiento 06.

Su ubicación es contigua al deslizamiento 05 y están separadas por la quebrada Andaden, en la margen izquierda de la microcuenca. Se trata también de un deslizamiento rotacional activo, presenta una longitud aproximada de 20 metros entre sus extremos y una altura de 7 metros, su dirección promedio es SW-NE y como puede apreciarse en la Foto 3.17 existe un pequeño volumen de material acumulado que es retirado en los mantenimientos de vía esporádicos que se realizan para evitar la colmatación de la carretera La Huaraclla – El Gavilán.



Foto 3.17. Deslizamiento ubicado en el margen izquierdo de la quebrada Andaden, Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9198260 E:783296 Cota:2978

Deslizamiento 07.

Se trata de un deslizamiento rotacional curvocilindrico activo, con una pendiente muy pronunciada que llega a superar los 50° con una dirección promedio SW - NE, está ubicada en la margen izquierda de la quebrada principal y en la zona media-alta de la microcuenca; en cuanto a sus dimensiones, corresponden a 60 metros de longitud entre sus extremos y una altura aproximada de 25 metros. Todo el material deslizado va a parar al cauce de la quebrada Andaden, para luego ser transportado por el agua y la gravedad hasta las zonas bajas de depositación de la microcuenca (Fotos 3.18).



Foto 3.18. Deslizamiento ubicado en la parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9198250 E:783184 Cota: 3022

Deslizamiento 08.

Este deslizamiento está situado en la margen izquierda de la Microcuenca en la parte media alta y presenta una pendiente moderada que oscila entre los 20° y los 35° ; es un deslizamiento rotacional de dirección SW - NE y de dimensiones aproximadas de 40 metros de longitud y 20 metros de altura, con una escarpa principal que alcanza los 3 metros en la parte central y disminuye su medida hacia los extremos. (Foto 3.19)



Foto 3.19. Deslizamiento con pendiente moderada. Coordenadas: N: 9198030 E:782909 Cota:3074

Deslizamiento 09.

Ubicado en la margen izquierda de la Microcuenca y cercano a la quebrada Andaden en la parte media-alta de la Microcuenca. Se trata de un deslizamiento rotacional curvocilindrico de notoria baja pendiente (ver foto 3.20), dicha pendiente corresponde a 40° en la zona cercana a la escarpa principal, pero disminuye considerablemente hasta los 15° en la zona media del deslizamiento (zona de acumulación del material deslizado); además es notoria la formación de terrazas por lo sedimentos deslizados acumulados.



Foto 3.20. Deslizamiento ubicado en el margen izquierdo de la quebrada Andaden, Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197870 E:782574 Cota:3152

Deslizamiento 10

Este deslizamiento es de naturaleza rotacional y está ubicado en la margen izquierda y contiguo a la quebrada Andaden. La escarpa principal tiene una longitud promedio de 3 metros y también puede observarse una escarpa secundaria, a partir de la cual es notorio el deslizamiento de materiales. La dirección del deslizamiento es N-S y tiene una pendiente bastante pronunciada correspondiente a más de 50° , el volumen de material deslizado va directamente hacia el lecho de la quebrada Andaden. La altura del deslizamiento es considerable y alcanza los 30 metros y la longitud entre sus extremos es de aproximadamente 50 metros (Foto 3.21).



Foto 3.21. Deslizamiento Activo ubicado en la Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197641 E:782334 Cota:3270

Deslizamiento 11.

Este deslizamiento es el de mayor extensión de la microcuenca, con una longitud aproximada de 150 metros y una altura desde la base hasta la corona de 40 metros. Está ubicado contiguo a la margen izquierda de la quebrada Andaden y tiene una dirección aproximada SW - NE, todo el material va a parar a dicha quebrada. Es un deslizamiento rotacional curvo y activo, como se puede apreciar en la foto 3.11, en cuanto a su pendiente presenta dos zonas diferenciables: la primera ubicada entre la escarpa principal y la zona media de la escarpa secundaria (donde se pueden observar vegetación de pequeño tamaño) presenta una pendiente promedio de 35° a 40° ; mientras que la segunda zona abarca desde la escarpa secundaria hasta la base del deslizamiento que corresponde al lecho de la quebrada Andaden y que tiene una pendiente superior a los 55° (en la Foto 3.11 se puede observar una coloración más oscura y el material claramente deslizado). La escarpa principal tiene una altura aproximada que oscila entre los 3 y 10 metros.

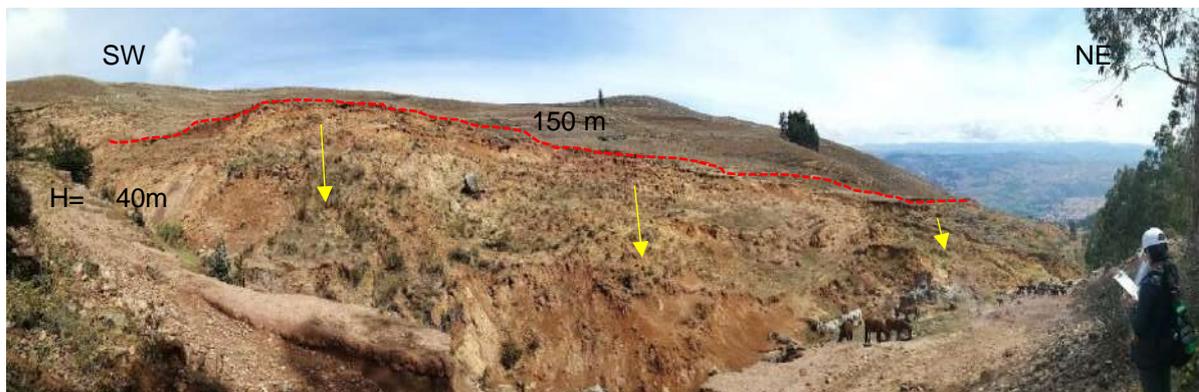


Foto 3.22. Deslizamiento Activo ubicado en el margen izquierdo de la Quebrada Andaden, Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197580 E:782233

Deslizamiento 12.

Este deslizamiento está ubicado en la margen derecha de la quebrada Andaden, es de tipo rotacional y tienen una pendiente promedio de 35° ; presenta una dirección NW-SE y una escarpa principal de 3 metros en promedio. En cuanto a sus dimensiones, posee una longitud de 40 metros de extremo a extremo y una altura de 25 metros. Se observa además (ver foto 3.23) la presencia de algunas plantas de tallo corto creciendo en la zona de depósito del deslizamiento.

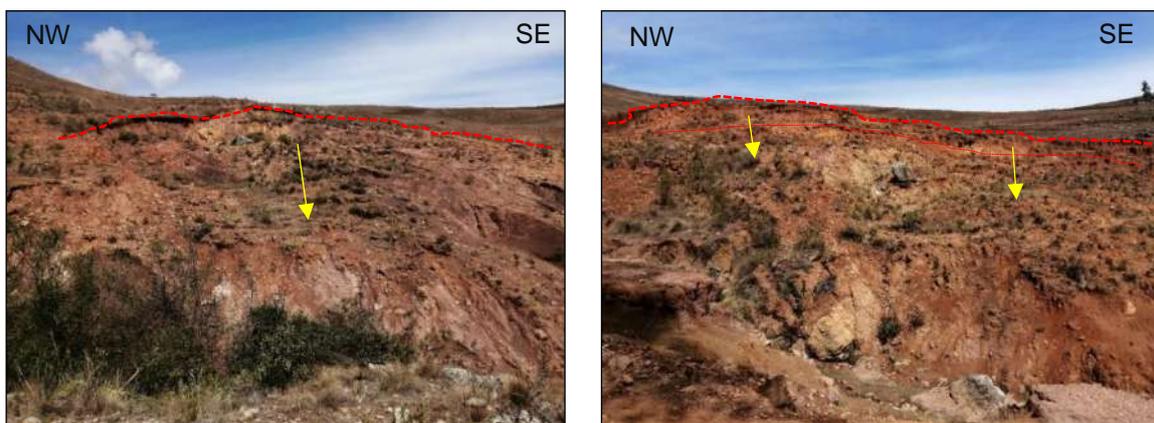


Foto 3.23. Deslizamiento rotacional ubicado en la margen izquierda de la quebrada Andaden, Parte media de la Microcuenca. Coordenadas: N: 9197430 E:782037 Cota:3275

Reptación

La reptación de suelos se manifiesta en las laderas de manera típica con la formación de pequeñas ondulaciones a manera de terrazas o escalones, asimismo, con la inclinación de árboles.

Este tipo de proceso se desarrolla en la zona media de la Microcuenca, donde existen viviendas muy dispersas y la mayoría del área corresponde a sembríos agrícolas, se han determinado algunas zonas puntuales de reptación y también agrietamientos; los procesos de caída pueden aumentar o disminuir de velocidad, los volúmenes y dimensiones de los materiales dependerá de la pendiente, el grado de intemperismo y fracturamiento de las rocas.



Foto 3.24. Zona Evidenciando curvatura de los árboles debido a la reptación.
 Coordenadas: N:9198170 E: 783199 Cota:3039

En las fotos 3.25 nótese la formación de grietas y pequeños escalones por ello fueron diferenciados como procesos de reptación.



Foto 3.25. Zona con proceso de reptación. Ubicación: N: 9198090 E: 783109 Cota: 3056

En el siguiente punto se muestra la presencia de grietas en el terreno las mismas que son indicios de un proceso de reptación y que en futuro pueden dar origen a un desplazamiento de dichos suelos.



Foto 3.26. Zona con proceso de reptación - presencia de grietas.
 Coordenadas: N:9197891 E:782465 Cota: 3181

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1 Análisis de las Variables de Precipitación, Infiltración y Sismicidad

En el apartado 3.9 se desarrolló el tema sobre la hidrología de la Microcuenca Yanamango, para ello se consideró los datos originales de precipitaciones de la Estación Meteorológica Weberbauer ubicada en la Universidad Nacional de Cajamarca, a los cuales se hizo transposición de precipitaciones utilizando el Factor de Transposición (cuyo valor para este caso es de 1.21) según la ecuación de Oswald (Ortiz, 2004).

A continuación, en el cuadro 4.1 se muestran los datos ordenados por años y ciclos hidrológicos, también el total y promedio de precipitación anual.

Del análisis destacamos los siguientes aspectos importantes:

- a. Se realizó el ordenamiento de los datos tomando como inicio de año hidrológico el mes de junio del año anterior y terminando con el mes de mayo del año siguiente. Esta forma de organizar los datos ha permitido visualizar la secuencia de precipitaciones de menor a mayor y seguir hacia las precipitaciones bajas del año siguiente. Esta distribución mostró como las precipitaciones tienen curvas típicas de comportamiento hidrológico durante los 49 años, desde junio 1970 hasta mayo del 2019, como se aprecia en los gráficos.
- b. El promedio, mediana, desviación estándar, máximo y mínimo, tienen cierta tendencia clara desde el mes de junio del año anterior y van creciendo

hasta llegar a su máximo valor en el mes de marzo del año posterior para luego disminuir hasta el mes de mayo del mismo año, detallado en la parte inferior del Cuadro 4.1

c. Según los datos presentados en el cuadro 4.1. se logra verificar que los valores más altos de precipitación se distribuyen entre el mes de octubre y abril, acumulando entre el 72% a 95% del total anual. Después de analizar la data se consideró como años críticos aquellos años con precipitación superior a 950 mm, y estos fueron:

- 1974 – 1975
- 1980 – 1981
- 1982 – 1983
- 1983 – 1984
- 1993 – 1994
- 1997 – 1998
- 2000 – 2001
- 2012 – 2013
- 2014 – 2015
- 2018 – 2019

Cuadro 4.1 Análisis de Precipitación y datos Estadísticos en la Microcuenca.

| TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIÓN EST. WEBERBAUER A LA MICROCUENCA YANAMANGO | | | | | | | | | | | | | | ANÁLISIS DE RESULTADOS DE HIDROLOGÍA | | | | |
|---|----------------------------|--|------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|-------|-------|--------|--------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|-------|
| De Estación Weberbauer (UNC) Período 1970 - 2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ciclos de Precipitación | AÑO ANTERIOR | | | | | | | AÑO POSTERIOR | | | | | AÑO TERMINAL | TOTAL PP ANUAL | PROMEDIO PP ANUAL | PP TOTAL OCT - ABR | % PP TOTAL OCT - ABR | |
| | jun | jul | ago | set | oct | nov | dic | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | | | | | | |
| 1 | PRECIPITACIÓN: 70 - 71 | 24.2 | 3.9 | 3.0 | 22.1 | 125.1 | 62.4 | 65.7 | 70.9 | 118.8 | 334.8 | 66.4 | 9.7 | 71 | 907.1 | 75.6 | 844.1 | 93.06 |
| 2 | PRECIPITACIÓN: 71 - 72 | 14.8 | 21.4 | 20.9 | 34.1 | 109.0 | 55.6 | 80.8 | 67.4 | 82.1 | 138.2 | 92.5 | 22.0 | 72 | 738.8 | 61.6 | 625.7 | 84.68 |
| 3 | PRECIPITACIÓN: 72 - 73 | 5.3 | 4.1 | 25.0 | 35.2 | 38.1 | 80.8 | 61.0 | 115.8 | 86.0 | 112.3 | 123.4 | 28.9 | 73 | 716.0 | 59.7 | 617.4 | 86.23 |
| 4 | PRECIPITACIÓN: 73 - 74 | 34.9 | 10.3 | 23.5 | 110.5 | 81.4 | 79.5 | 91.1 | 74.8 | 170.0 | 108.2 | 71.7 | 5.6 | 74 | 861.5 | 71.8 | 676.7 | 78.55 |
| 5 | PRECIPITACIÓN: 74 - 75 | 21.0 | 7.9 | 33.1 | 47.0 | 85.9 | 66.9 | 93.3 | 116.1 | 190.0 | 245.3 | 83.6 | 81.1 | 75 | 1071.3 | 89.3 | 881.0 | 82.24 |
| 6 | PRECIPITACIÓN: 75 - 76 | 12.2 | 8.7 | 23.4 | 54.8 | 97.4 | 79.0 | 1.1 | 158.3 | 76.4 | 98.7 | 41.9 | 52.2 | 76 | 704.3 | 58.7 | 552.9 | 78.51 |
| 7 | PRECIPITACIÓN: 76 - 77 | 27.9 | 0.1 | 5.4 | 15.0 | 39.1 | 86.9 | 53.9 | 157.7 | 177.8 | 172.3 | 51.7 | 31.0 | 77 | 818.9 | 68.2 | 739.6 | 90.31 |
| 8 | PRECIPITACIÓN: 77 - 78 | 9.7 | 9.1 | 0.1 | 19.5 | 64.9 | 66.5 | 82.8 | 15.4 | 41.8 | 59.3 | 45.0 | 79.7 | 78 | 493.8 | 41.2 | 375.7 | 76.07 |
| 9 | PRECIPITACIÓN: 78 - 79 | 4.7 | 5.3 | 4.6 | 30.4 | 29.6 | 65.6 | 54.4 | 102.1 | 99.1 | 193.9 | 45.0 | 19.8 | 79 | 654.7 | 54.6 | 589.8 | 90.09 |
| 10 | PRECIPITACIÓN: 79 - 80 | 2.2 | 9.1 | 19.1 | 40.8 | 29.6 | 31.9 | 56.6 | 42.4 | 51.5 | 78.9 | 35.6 | 8.4 | 80 | 406.1 | 33.8 | 326.5 | 80.41 |
| 11 | PRECIPITACIÓN: 80 - 81 | 15.1 | 3.9 | 8.1 | 2.8 | 158.3 | 134.8 | 129.6 | 95.0 | 226.5 | 128.3 | 40.9 | 17.8 | 81 | 961.2 | 80.1 | 913.4 | 95.03 |
| 12 | PRECIPITACIÓN: 81 - 82 | 8.0 | 8.7 | 15.4 | 26.7 | 135.9 | 55.4 | 135.1 | 87.1 | 124.9 | 91.9 | 107.7 | 46.4 | 82 | 843.3 | 70.3 | 738.0 | 87.51 |
| 13 | PRECIPITACIÓN: 82 - 83 | 9.5 | 2.5 | 8.0 | 53.3 | 151.5 | 81.7 | 106.1 | 141.6 | 91.9 | 185.5 | 128.3 | 37.8 | 83 | 997.9 | 83.2 | 886.8 | 88.87 |
| 14 | PRECIPITACIÓN: 83 - 84 | 12.3 | 11.7 | 3.3 | 23.3 | 105.5 | 34.1 | 143.8 | 30.0 | 283.6 | 150.3 | 97.1 | 84.4 | 84 | 979.4 | 81.6 | 844.5 | 86.23 |
| 15 | PRECIPITACIÓN: 84 - 85 | 30.5 | 28.4 | 22.7 | 44.6 | 83.3 | 118.5 | 126.4 | 29.9 | 51.5 | 31.6 | 50.9 | 64.4 | 85 | 682.5 | 56.9 | 492.0 | 72.09 |
| 16 | PRECIPITACIÓN: 85 - 86 | 0.5 | 5.8 | 22.2 | 45.3 | 60.7 | 29.0 | 48.9 | 102.5 | 57.9 | 117.5 | 146.0 | 19.7 | 86 | 656.1 | 54.7 | 562.6 | 85.75 |
| 17 | PRECIPITACIÓN: 86 - 87 | 0.7 | 1.5 | 17.7 | 1.6 | 52.9 | 80.4 | 62.9 | 119.2 | 115.6 | 47.6 | 63.4 | 11.0 | 87 | 574.6 | 47.9 | 542.0 | 94.34 |
| 18 | PRECIPITACIÓN: 87 - 88 | 4.9 | 13.1 | 14.9 | 48.0 | 45.2 | 90.2 | 74.7 | 133.2 | 128.1 | 54.4 | 116.1 | 12.9 | 88 | 735.6 | 61.3 | 641.9 | 87.25 |
| 19 | PRECIPITACIÓN: 88 - 89 | 6.6 | 0.0 | 0.5 | 39.9 | 84.3 | 79.2 | 77.0 | 105.6 | 192.8 | 137.8 | 103.7 | 22.8 | 89 | 850.2 | 70.9 | 780.4 | 91.79 |
| 20 | PRECIPITACIÓN: 89 - 90 | 20.3 | 3.9 | 7.2 | 65.0 | 129.4 | 57.2 | 3.3 | 123.6 | 83.2 | 70.8 | 33.3 | 48.0 | 90 | 645.0 | 53.8 | 500.8 | 77.64 |
| 21 | PRECIPITACIÓN: 90 - 91 | 29.9 | 1.0 | 8.6 | 24.4 | 106.4 | 120.3 | 87.8 | 53.2 | 109.3 | 162.3 | 67.0 | 21.7 | 91 | 791.9 | 66.0 | 706.3 | 89.19 |
| 22 | PRECIPITACIÓN: 91 - 92 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 12.4 | 34.2 | 66.9 | 87.3 | 63.9 | 38.6 | 80.9 | 56.5 | 22.9 | 92 | 465.3 | 38.8 | 428.3 | 92.04 |
| 23 | PRECIPITACIÓN: 92 - 93 | 25.7 | 5.6 | 12.1 | 49.5 | 77.7 | 38.9 | 41.4 | 74.1 | 136.2 | 297.5 | 124.9 | 36.7 | 93 | 920.4 | 76.7 | 790.7 | 85.91 |
| 24 | PRECIPITACIÓN: 93 - 94 | 2.3 | 4.0 | 3.5 | 62.4 | 129.1 | 86.7 | 102.1 | 141.9 | 125.2 | 206.7 | 175.9 | 42.9 | 94 | 1082.8 | 90.2 | 967.6 | 89.37 |
| 25 | PRECIPITACIÓN: 94 - 95 | 4.0 | 0.0 | 0.2 | 14.4 | 33.0 | 109.0 | 148.9 | 54.3 | 131.5 | 91.9 | 60.3 | 25.0 | 95 | 672.7 | 56.1 | 629.0 | 93.50 |
| 26 | PRECIPITACIÓN: 95 - 96 | 2.1 | 16.0 | 13.1 | 14.0 | 62.9 | 61.3 | 92.8 | 79.2 | 150.6 | 145.8 | 61.2 | 16.6 | 96 | 715.6 | 59.6 | 653.8 | 91.36 |
| 27 | PRECIPITACIÓN: 96 - 97 | 1.0 | 0.6 | 19.2 | 16.9 | 92.5 | 83.5 | 41.4 | 77.5 | 185.7 | 32.2 | 49.1 | 20.6 | 97 | 620.1 | 51.7 | 561.8 | 90.60 |
| 28 | PRECIPITACIÓN: 97 - 98 | 18.7 | 0.2 | 0.0 | 33.3 | 61.7 | 145.6 | 157.1 | 125.1 | 141.5 | 312.1 | 101.9 | 23.8 | 98 | 1120.9 | 93.4 | 1044.9 | 93.22 |
| 29 | PRECIPITACIÓN: 98 - 99 | 5.8 | 1.6 | 5.7 | 21.6 | 96.7 | 35.3 | 58.2 | 115.1 | 294.7 | 84.4 | 78.9 | 65.2 | 99 | 863.2 | 71.9 | 763.3 | 88.42 |
| 30 | PRECIPITACIÓN: 99 - 2000 | 27.7 | 26.8 | 0.0 | 98.8 | 26.3 | 93.5 | 82.8 | 55.9 | 197.1 | 153.4 | 93.9 | 49.2 | 2000 | 905.4 | 75.4 | 702.8 | 77.63 |
| 31 | PRECIPITACIÓN: 2000 - 2001 | 19.0 | 2.6 | 16.3 | 68.7 | 12.0 | 54.0 | 148.5 | 232.2 | 122.4 | 279.5 | 69.5 | 58.5 | 2001 | 1083.1 | 90.3 | 918.1 | 84.77 |
| 32 | PRECIPITACIÓN: 2001 - 2002 | 2.9 | 16.9 | 0.0 | 41.8 | 56.1 | 113.4 | 110.4 | 32.8 | 72.9 | 161.6 | 93.8 | 28.0 | 2002 | 730.5 | 60.9 | 641.0 | 87.74 |
| 33 | PRECIPITACIÓN: 2002 - 2003 | 10.7 | 13.0 | 4.1 | 17.8 | 109.6 | 121.3 | 104.5 | 62.1 | 74.6 | 125.8 | 51.1 | 37.3 | 2003 | 732.0 | 61.0 | 649.1 | 88.68 |
| 34 | PRECIPITACIÓN: 2003 - 2004 | 27.1 | 2.2 | 12.9 | 18.0 | 55.9 | 77.5 | 98.0 | 43.8 | 123.9 | 69.1 | 54.1 | 51.5 | 2004 | 633.9 | 52.8 | 522.2 | 82.38 |
| 35 | PRECIPITACIÓN: 2004 - 2005 | 2.6 | 16.8 | 35.7 | 23.1 | 77.0 | 112.4 | 150.2 | 103.1 | 65.2 | 165.9 | 65.6 | 8.8 | 2005 | 826.3 | 68.9 | 739.4 | 89.49 |
| 36 | PRECIPITACIÓN: 2005 - 2006 | 5.5 | 0.7 | 4.2 | 37.9 | 112.1 | 36.4 | 106.6 | 101.0 | 123.4 | 242.0 | 94.2 | 9.3 | 2006 | 873.4 | 72.8 | 815.7 | 93.40 |
| 37 | PRECIPITACIÓN: 2006 - 2007 | 29.0 | 2.2 | 7.4 | 40.8 | 15.4 | 73.3 | 99.2 | 115.8 | 21.3 | 221.5 | 135.4 | 35.2 | 2007 | 796.7 | 66.4 | 682.0 | 85.60 |
| 38 | PRECIPITACIÓN: 2007 - 2008 | 1.7 | 13.0 | 7.8 | 14.1 | 144.4 | 118.5 | 83.5 | 97.4 | 161.9 | 143.8 | 120.4 | 27.6 | 2008 | 934.1 | 77.8 | 869.9 | 93.12 |
| 39 | PRECIPITACIÓN: 2008 - 2009 | 18.8 | 2.8 | 14.2 | 42.2 | 117.2 | 87.5 | 41.8 | 219.4 | 90.6 | 134.2 | 95.7 | 51.2 | 2009 | 915.5 | 76.3 | 786.4 | 85.89 |
| 40 | PRECIPITACIÓN: 2009 - 2010 | 21.7 | 15.0 | 4.8 | 14.3 | 95.4 | 132.9 | 90.1 | 60.1 | 137.1 | 187.0 | 107.4 | 38.4 | 2010 | 904.1 | 75.3 | 809.9 | 89.58 |
| 41 | PRECIPITACIÓN: 2010 - 2011 | 10.5 | 3.2 | 0.0 | 35.2 | 52.7 | 63.8 | 72.5 | 26.8 | 52.9 | 79.4 | 54.2 | 7.3 | 2011 | 458.3 | 38.2 | 402.2 | 87.76 |
| 42 | PRECIPITACIÓN: 2011 - 2012 | 0.5 | 10.1 | 0.0 | 57.2 | 38.2 | 29.6 | 133.2 | 187.3 | 163.6 | 153.5 | 88.4 | 62.5 | 2012 | 924.2 | 77.0 | 793.8 | 85.89 |
| 43 | PRECIPITACIÓN: 2012 - 2013 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 23.2 | 101.1 | 146.1 | 70.8 | 74.7 | 119.0 | 259.4 | 89.6 | 76.0 | 2013 | 960.1 | 80.0 | 860.6 | 89.63 |
| 44 | PRECIPITACIÓN: 2013 - 2014 | 9.1 | 6.9 | 10.8 | 4.5 | 134.4 | 20.6 | 63.0 | 90.7 | 75.8 | 173.9 | 95.7 | 32.7 | 2014 | 718.2 | 59.9 | 654.2 | 91.08 |
| 45 | PRECIPITACIÓN: 2014 - 2015 | 6.1 | 2.4 | 4.7 | 33.6 | 32.0 | 55.5 | 139.5 | 224.3 | 67.3 | 245.5 | 76.5 | 92.1 | 2015 | 979.5 | 81.6 | 840.5 | 85.81 |
| 46 | PRECIPITACIÓN: 2015 - 2016 | 3.6 | 5.3 | 0.1 | 33.8 | 20.4 | 116.1 | 116.2 | 100.5 | 87.1 | 65.9 | 47.2 | 5.5 | 2016 | 601.8 | 50.1 | 553.5 | 91.97 |
| 47 | PRECIPITACIÓN: 2016 - 2017 | 6.8 | 0.1 | 0.5 | 22.9 | 58.8 | 18.2 | 158.0 | 140.0 | 51.7 | 245.8 | 119.0 | 40.8 | 2017 | 862.6 | 71.9 | 791.5 | 91.75 |
| 48 | PRECIPITACIÓN: 2017 - 2018 | 41.9 | 0.0 | 25.6 | 16.0 | 95.6 | 41.5 | 131.1 | 72.7 | 117.4 | 134.7 | 75.5 | 73.0 | 2018 | 825.1 | 68.8 | 668.6 | 81.03 |
| 49 | PRECIPITACIÓN: 2018 - 2019 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 32.2 | 80.3 | 134.3 | 98.7 | 57.1 | 187.2 | 260.1 | 64.2 | 33.1 | 2019 | 950.4 | 79.2 | 881.9 | 92.79 |
| POR MESES | | AÑO ANTERIOR | | | | | | | AÑO POSTERIOR | | | | | | | | | |
| | | jun | jul | ago | set | oct | nov | dic | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | | | | | |
| | PROMEDIO | 12.3 | 6.7 | 10.0 | 34.4 | 78.3 | 77.4 | 90.6 | 97.4 | 119.9 | 152.5 | 81.9 | 36.7 | | 799.3 | 66.61 | 699.20 | 87.27 |
| | MEDIANA | 9.1 | 4.0 | 7.4 | 33.3 | 80.3 | 79.0 | 90.1 | 95.0 | 118.8 | 143.8 | 76.5 | 32.7 | | 825.1 | 68.8 | 702.8 | 88.4 |
| | DESVIACIÓN ESTÁNDAR | 11 | 7.01 | 9.6 | 21.92 | 39.01 | 34.5 | 37.8 | 50.3 | 59.8 | 76.83 | 32.091 | 23.2 | | 170.98 | 14.25 | 161.16 | 5.31 |
| MÁXIMO | 41.9 | 28.4 | 35.7 | 110.5 | 158.3 | 146.1 | 158.0 | 232.2 | 294.7 | 334.8 | 175.9 | 92.1 | | 1120.9 | 93.4 | 1044.9 | 95.0 | |
| MÍNIMO | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 12.0 | 18.2 | 1.1 | 15.4 | 21.3 | 31.6 | 33.3 | 5.5 | | 406.1 | 33.8 | 326.5 | 72.1 | |
| | | Línea de Precipitación Referencial Conservadora : X=66.61 ~ 67 DS=14.25 ~ 14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | LPRC = 67+ 14= 81 ~ 80 | | | | | | | | | | | | | | | | |

- d. Al graficar la precipitación total anual y precipitación octubre – abril de los años críticos se observa una tendencia casi paralela, lo cual indica una relación entre las precipitaciones anuales y las que ocurren en el intervalo octubre – abril las mismas que alcanzaron hasta un 95% de la precipitación total anual (Ver Cuadro 4.2 y Fig. 4.1). En estos años críticos se aprecian Precipitaciones Totales Anuales mayores a 950 mm y cercanos a 1120 mm.

Cuadro 4.2. Años Críticos con Valores de Precipitación Total Anual mayor a 950mm

| PRECIPITACIÓN | PP TOTAL | PROMEDIO | PP OCT - | % PP TOTAL |
|-----------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
| AÑOS CRÍTICOS | ANUAL | PP ANUAL | ABRIL | OCT - ABRIL |
| 1974 – 1975 | 1071.3 | 89.3 | 881.0 | 82.2 |
| 1980 – 1981 | 961.2 | 80.1 | 913.4 | 95.0 |
| 1982 – 1983 | 997.9 | 83.2 | 886.8 | 88.9 |
| 1983 – 1984 | 979.4 | 81.6 | 844.5 | 86.2 |
| 1993 – 1994 | 1082.8 | 90.2 | 967.6 | 89.4 |
| 1997 – 1998 | 1120.9 | 93.4 | 1044.9 | 93.2 |
| 2000 – 2001 | 1083.1 | 90.3 | 918.1 | 84.8 |
| 2012 – 2013 | 963.2 | 80.3 | 860.6 | 89.3 |
| 2014 – 2015 | 979.5 | 81.6 | 840.5 | 85.8 |
| 2018 – 2019 | 950.4 | 79.2 | 881.9 | 92.8 |
| Promedio | 1019.0 | 84.9 | 903.9 | 88.8 |

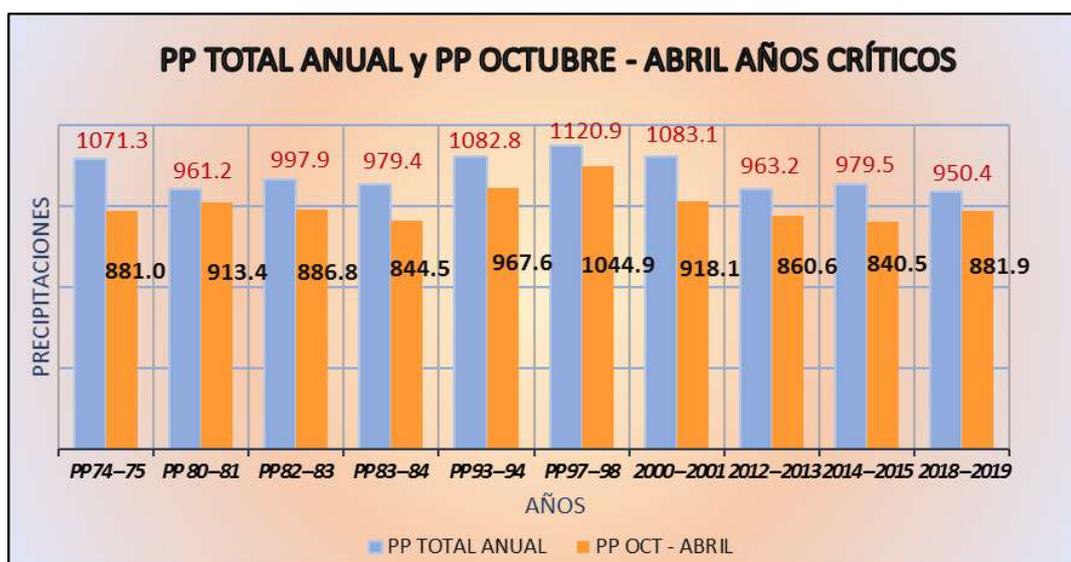


Figura 4.1. Precipitación Total Anual y Precipitación Octubre-Abril de los Años Críticos

- e. Graficamos la distribución de la Precipitación Total Anual de datos de los 49 años considerados en la presente investigación, como se muestra en la Figura 4.2 donde se observan ciclos de 3 años entre 1970 – 1971 y 1972 – 1973 y ciclos de 5 y 7 años, entre los años 1972 – 1973 y 2015 – 2016, terminando finalmente con un ciclo de 3 años. La precipitación más baja de los 49 años fue de 367 mm ocurrido en el año 2010 – 2011. A partir de este año se observa un ciclo de 5 años con precipitaciones dentro del promedio total anual. De manera similar se comporta la curva Promedio de Precipitación Anual como se observa en la Figura 4.3.

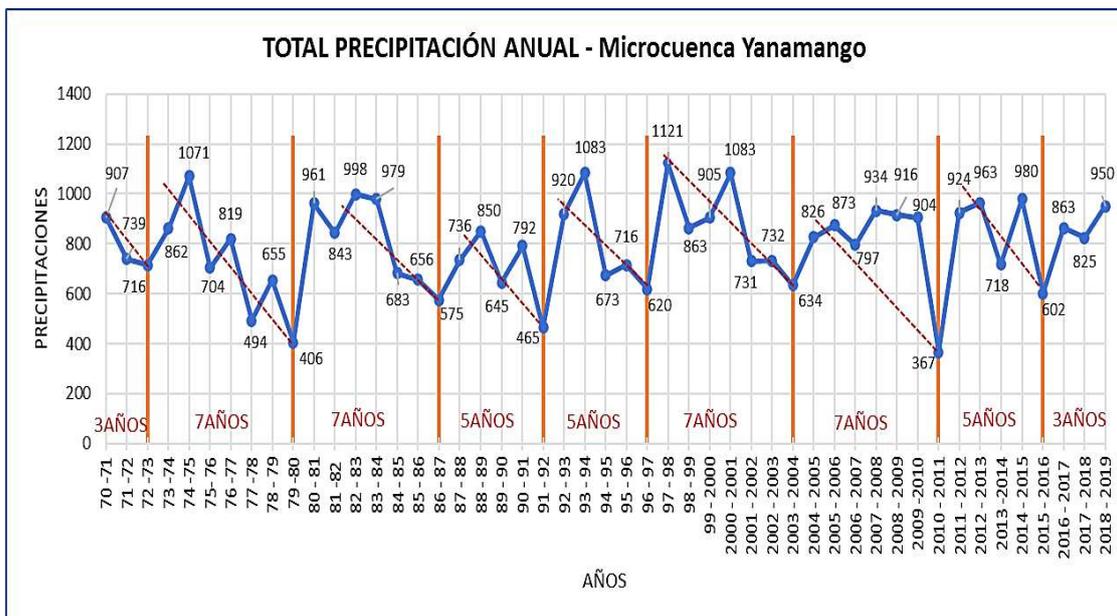


Figura 4.2. Gráficas de la Precipitación Total Anual - Microcuenca Yanamango

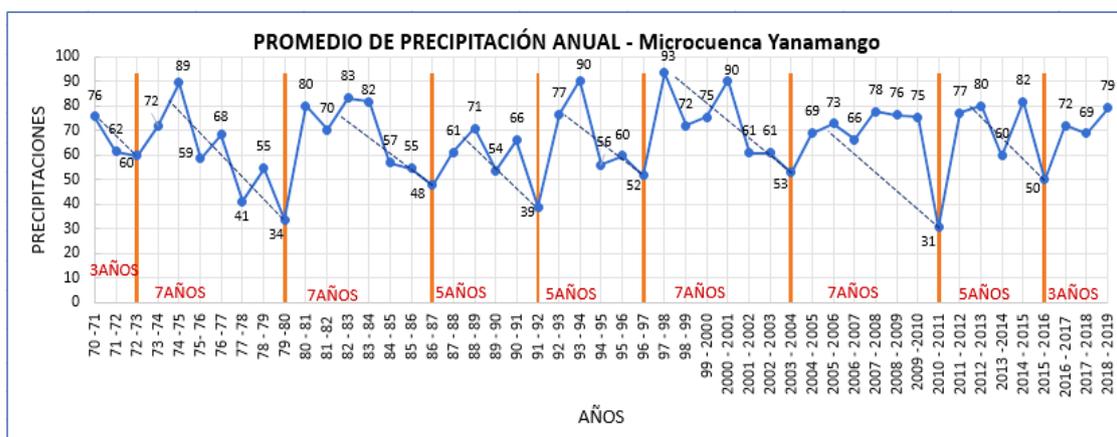


Figura 4.3. Gráficas del Promedio de Precipitación Anual - Microcuenca Yanamango.

- f. En el cuadro 4.3. se tienen los cálculos para los 9 ciclos respecto a la Precipitación Total (PP), Precipitación Efectiva o Escurrimiento (Pe), Infiltración (F) y Volumen de Infiltración (VF), realizados según Huamán Vidaurre (2014) y utilizando las ecuaciones siguientes:

$$PP = Pe + F \quad (\text{Ecuación de Balance Hidrológico}),$$

$$C = Pe/PP = 0.70 \quad (\text{Ecuación para calcular el Coeficiente de Escurrimiento}),$$

$$f = 1 - 0.70 \quad (\text{Coeficiente de Infiltración}),$$

$$VF = F * A_{mc} \quad (\text{Ecuación calcular del Volumen de Infiltración}),$$

PP = Precipitación Total en mm,
 Pe = C*PP Precipitación Efectiva o Escurrimiento en mm
 F = Infiltración (mm)
 VF = Volumen de Infiltración en m³ o MMC: Millones de metros cúbicos
 A_{mc} = Área de la Microcuenca en km²

Cuadro 4.3. Balance Hidrológico Periodo 1970 – 2019

| BALANCE HIDROLÓGICO | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------|-------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| MICROCUECA YANAMANGO | | | | | | | | | |
| | | PP | C | Pe | F | F | VF | VF | |
| | | | C=Pe/PP | Pe=C*PP | F=PP-Pe | F=PP-Pe | VF=F*A _{mc} | VF=F*A _{mc} | |
| | | mm | | mm | mm | m | m ³ | MMC | |
| CICLOS DE PRECIPITACIÓN EN AÑOS | NÚMERO DE AÑOS POR CICLO | PRECIPITACIÓN TOTAL | COEF. ESCORRENTÍA | PRECIP. EFECTIVA O ESCURRIMIENTO (Pe) | INFILTRACIÓN (F) | INFILTRACIÓN (F) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF) | % PARCIAL DE LA PRECIP. TOTAL |
| 1970 - 1973 | 3 | 2362 | 0.7 | 1653.32 | 708.56 | 0.71 | 5017338.442 | 5.02 | 6.04 |
| 1973 - 1980 | 7 | 5011 | 0.7 | 3507.45 | 1503.19 | 1.50 | 10644107.93 | 10.64 | 12.82 |
| 1980 - 1987 | 7 | 5695 | 0.7 | 3986.48 | 1708.49 | 1.71 | 12097817.03 | 12.10 | 14.57 |
| 1987 - 1992 | 5 | 3488 | 0.7 | 2441.66 | 1046.43 | 1.05 | 7409748.97 | 7.41 | 8.93 |
| 1992 - 1997 | 5 | 4012 | 0.7 | 2808.07 | 1203.46 | 1.20 | 8521693.67 | 8.52 | 10.27 |
| 1997 - 2004 | 7 | 6069 | 0.7 | 4248.31 | 1820.70 | 1.82 | 12892398.83 | 12.89 | 15.53 |
| 2004 - 2011 | 7 | 5617 | 0.7 | 3931.88 | 1685.09 | 1.69 | 11932136.56 | 11.93 | 14.37 |
| 2011 - 2016 | 5 | 4187 | 0.7 | 2930.89 | 1256.09 | 1.26 | 8894396.857 | 8.89 | 10.71 |
| 2016 - 2019 | 3 | 2638 | 0.7 | 1846.66 | 791.43 | 0.79 | 5604089.859 | 5.60 | 6.75 |
| TOTAL | 49 | 39078 | 0.7 | 27354.72 | 11723.45 | 11.72 | 83013728.14 | 83.01 | 100.00 |
| A _{mc} | Área de la Microcuenca en km ² | | 7.08 | | | | | | |
| | Área de la Microcuenca Yanamango en m ² | | 7080996.99 | | | | | | |

- g. El volumen infiltrado en la microcuenca durante los 49 años es sumamente considerable, corresponde a 83.01 millones de metros cúbicos (Ver Cuadro 4.3), cantidad muy significativa considerando que al infiltrarse en los depósitos cuaternarios que cubren las formaciones geológicas pendiente abajo con dirección hacia la quebrada Andaden que finalmente desemboca en el río Cajamarquino.

- h. Según el análisis de resultados del balance hidrológico 1970 – 2019, existe cierta probabilidad de ocurrencias de fuertes precipitaciones en el futuro, con ello se asocia una notoria preocupación debido a su capacidad de desencadenar nuevos deslizamientos y activar los ya existentes).
- i. El análisis de la sismicidad según los datos procesados en el LoadCap los valores obtenidos de K_h y K_v (ver Figura 3.5.) son relativamente altos en consecuencia muestran que la variable sismicidad tiene fuerte incidencia en los fenómenos geodinámicos de la Microcuenca Yanamango.

4.1.2 Análisis del Comportamiento Geodinámico

En la Microcuenca Yanamango encontramos zonas geodinámicamente inestables, con presencia de deslizamientos que causan impactos negativos para el medio físico, así como también para las actividades cotidianas que realiza el ser humano.

Es de suma importancia identificar y conocer bien las zonas inestables en el área de estudio para posteriormente tomar las acciones pertinentes según sea la magnitud de cada una de ellas. Según el análisis del comportamiento geodinámico de la microcuenca se logró clasificar las zonas considerando ciertos criterios como la concentración de fenómenos geodinámicos externos, aspectos hidrológicos, geomorfológicos y litológicos.

Para realizar el análisis del comportamiento geodinámico la Microcuenca se consideró áreas afectadas por deslizamientos y zonas con reptación, por ser los eventos característicos y más representativos.

Mediante la frecuencia y cantidad de estos eventos geodinámicos se han podido diferenciar tres zonas de inestabilidad.

| CLASIFICACIÓN DE ZONAS POR INESTABILIDAD | | | |
|--|---------------|----------------------------|---|
| Categoría | Nº de Eventos | Tipo | Color asignado |
| I | 1-2 | MODERADAMENTE INESTABLE |  |
| II | 3 | INESTABLE |  |
| III | 4 - 6 | ALTAMENTE INESTABLE |  |

Zona Moderadamente Inestable

Zonas localizadas principalmente en la parte media y alta de la microcuenca encontrándose fenómenos de pequeña magnitud, donde la litología existente no permite la aparición de fenómenos geodinámicos significativos.

Zona Inestable

Esta zona se aprecia en la parte baja de la Microcuenca y se caracteriza por la presencia de deslizamientos en el caserío Pomabamba afectando directamente zonas de cultivo y una vivienda cercana.

Es en esta área donde se aprecian deslizamientos de gran magnitud afectadas principalmente por las lluvias estacionales que son los factores influyentes para que estos se desarrollen.

Zona Altamente Inestable

Esta zona es altamente sensible a fenómenos geodinámicos como deslizamientos y procesos de reptación que se producen periódicamente, están condicionados a las precipitaciones, crecidas del caudal de la quebrada y a la acción antrópica que mediante la agricultura y deforestación hacen que dichos fenómenos se lleven a cabo.

Se localizan en la parte media de la Microcuenca abarcando el Caserío Pomabamba y cierta parte del caserío Yanamanguito.

Por lo descrito en ítems anteriores decimos que la inestabilidad en la Microcuenca Yanamango está asociado a los siguientes factores principales:

- Influencia de las Precipitaciones
- Influencia de las Infiltraciones
- La Sismicidad en la Microcuenca Yanamango
- Litología

4.1.3 Tratamiento y alternativas de solución frente a la ocurrencia de Deslizamientos

Es importante considerar que ciertos eventos geodinámicos se pueden mitigar y dar solución únicamente si se tiene conocimiento pleno del origen, mecanismo y evolución de los mismos apoyados en el Modelo Geológico de la zona.

De cierta manera es posible evitar y controlar los deslizamientos existentes en la microcuenca tomando en cuenta lo siguiente:

- Reforestar con especies de plantas apropiadas al suelo y clima principalmente en las zonas de mayor incidencia.
- Modificar algunas zonas el perfil del talud con corte para disminuir los esfuerzos.
- Realizar drenajes superficiales mediante la excavación de zanjas perimetrales que eviten la llegada de agua a la masa en movimiento, en masas deslizadas deben ejecutarse una vez que ya estén estabilizadas.
- Colocar bermas o muros de contención en el pie de las laderas inestables.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El desarrollo de la investigación se basó fundamentalmente en una hipótesis de tipo descriptiva, correlacional y explicativa asociado al diseño de investigación no experimental, transeccional o transversal; dichas condiciones fueron contrastadas por los resultados obtenidos, la interpretación y discusión de resultados al finalizar la investigación.

Por lo que considerando la variable dependiente (deslizamientos) e independientes (infiltración y sismicidad) se tiene el contexto para la contratación de la hipótesis.

De acuerdo a ello tenemos que las variables infiltración y sismicidad son correlacionales con la variable deslizamientos, demostrándose así que la condición de la hipótesis es causal determinándose que las variables definidas tienen un comportamiento tanto correlacional como causal, pues presentan una relación causa efecto entre las variables independientes (infiltración y sismicidad) y la dependiente (deslizamientos).

Como es notorio en el Cuadro 4.3 los parámetros de precipitación e infiltración son fundamentales en el proceso de inestabilidad, ya que ésta se encuentra asociada a la disminución de la resistencia en los depósitos cuaternarios y el macizo rocoso en condiciones de humedad y/o saturación y en este caso incluimos a la sismicidad puesto que los valores de los coeficientes de sismicidad obtenidos arrojaron datos elevados, y dado que la Microcuenca Yanamango se encuentra ubicada en la zona sísmica 3 donde existe cierto silencio sísmico no sabemos cuándo pueda ocurrir un sismo.

Demostramos así que la hipótesis formulada estuvo acorde con la realidad existente en la zona de investigación y con los resultados obtenidos, el análisis y discusión de dichos resultados se está demostrando que actualmente la zona es geodinámicamente inestable.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se delimitó la Microcuenca mediante imágenes satelitales obtenidas desde la plataforma SAS Planet y el Sensor Bing.

Se obtuvo el Modelo Digital de Elevaciones y los planos temáticos como Accesibilidad, Geológico, Unidades Morfogenéticas, Altitudinal y Geodinámico.

Las zonas inestables están constituidas por deslizamientos circulares, los cuales están asociados a los depósitos cuaternarios.

El Modelo Geodinámico está constituido por las zonas inestables de la Microcuenca Yanamango, el cual muestra la influencia de las variables litología, precipitación-infiltración, sismicidad, meteorización; constituyendo deslizamientos circulares en los depósitos cuaternarios; con lo cual se obtuvo la zonificación con criterios altamente inestables, inestables y moderadamente inestables.

5.2 RECOMENDACIONES

La Municipalidad Distrital de Jesús debe realizar estudios geotécnicos incluyendo ensayos estándares y especiales de mecánica de suelos para conocer con mayor precisión el comportamiento de los depósitos cuaternarios asociados a cada deslizamiento.

Igualmente, la Municipalidad Distrital de Jesús, considerando la zonificación geodinámica de la presente investigación debe elaborar el plan de gestión de peligros, vulnerabilidad y riesgos de desastres naturales por deslizamientos.

Reforestar las laderas que se encuentran en las márgenes izquierda y derecha de la quebrada principal Andadén hasta el Divortium Acuarium de la Microcuenca Yanamango.

Capacitar a las personas del municipio y pobladores en temas relacionados a la correcta utilización de terrenos agrícolas para evitar el mal uso del agua de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corominas , J. 2004. Tipos de Rotura en Laderas y Taludes. Barcelona, España.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. Lima, Perú, Ingemmet.
- Fuentes, L. 2017. Análisis Geodinámico de las zonas Inestables en los alrededores del Poblado de Jesús. Tesis de Pregrado, Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- GEMMA (Grupo de Estándares para Movimientos en Masa, Canadá). 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas: informe de 2007. Toronto, Canadá. 432p.
- González, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España. Editorial Pearson Educación S. A.
- Huaripata, M. 2014. Modelo Geodinámico de la Quebrada Cruz Blanca Microcuenca Cruz Blanca - Los Chilcos. Tesis de Pregrado, Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Rodríguez, R. 2016. Método de Investigación Geológico - Geotécnico para el Análisis de Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos Zona Ronquillo-Corisorgona Cajamarca Perú. Tesis de Maestría, Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Rodriguez, R. y Huamán, F. 2016. Clasificación de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas según sus Parámetros Geomorfológicos en la Región Cajamarca. Cajamarca. FEDU-UNC.
- Santacana, N. 2001. Análisis de la Susceptibilidad del Terreno a la Formación de Deslizamientos Superficiales y Grandes Deslizamientos Mediante el uso de

Sistemas de Información Geográfica . Aplicación a la Cuenca Alta Del Río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona

Suárez, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Santander, Colombia, Universidad Santander.

Suárez, J. 2007. Deslizamientos. Colombia, U. Industrial de Santander.

Torres , K. 2017. Análisis Del Deslizamiento en el Naranjo mediante el Método de Equilibrio Límite con el Software Slide Magdalena - Cajamarca. Tesis de pregrado. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

Villón, M. 2002. Hidrología: Segunda Edición. Lima, Perú, Editorial Villón. 430p.

Zavala, B. y Barrantes, R. 2007. Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca. Lima.

ANEXOS

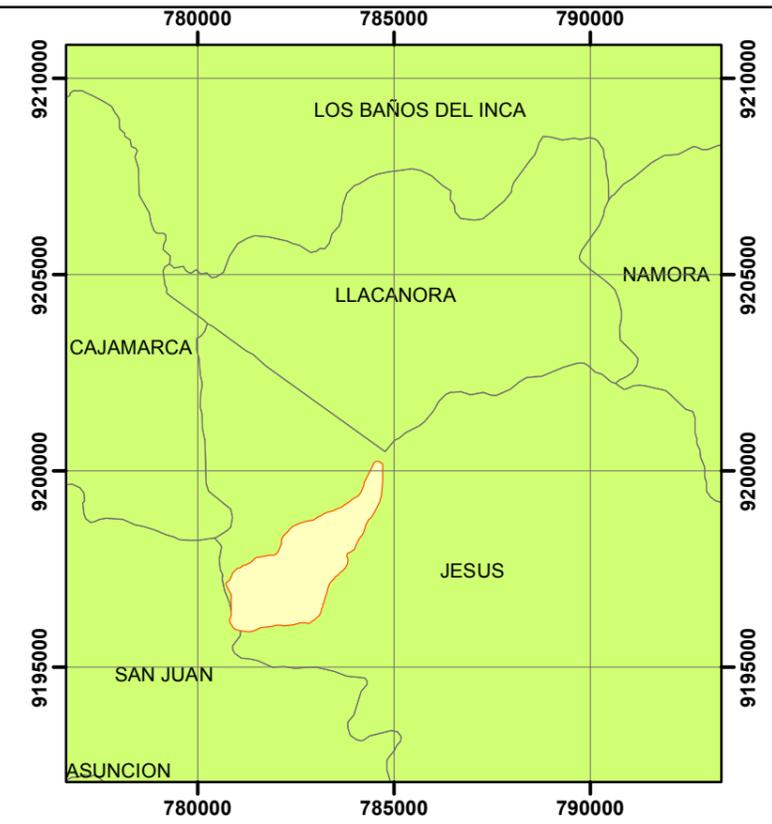
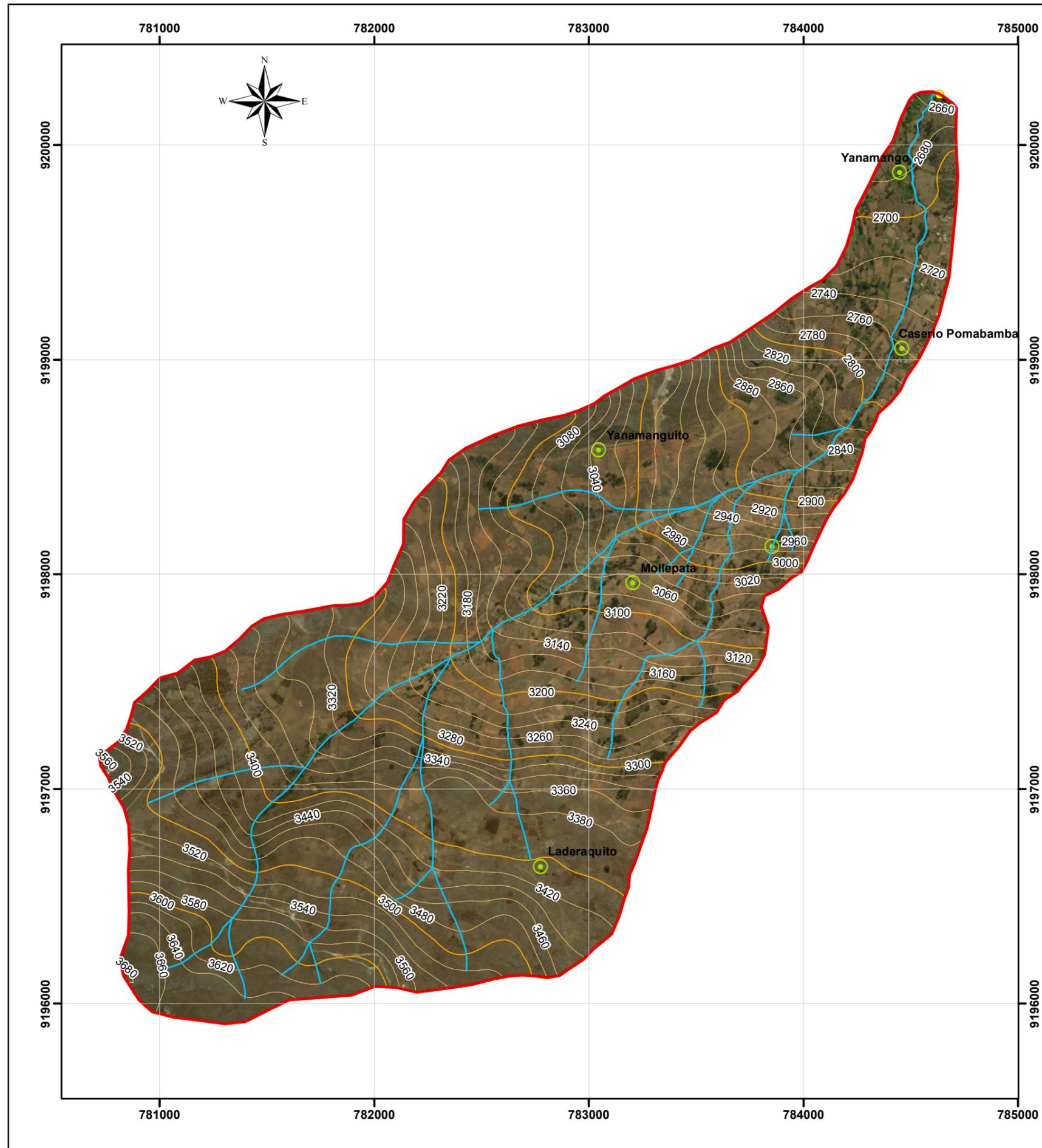
1. DATOS DE PRECIPITACIONES ESTACIÓN AUGUSTO WEBERBAUER AÑOS 1970 AL 2019

| DATOS DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUGUSTO WEBERBAUER | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------|------|-------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|-------|
| Ciclos de precipitación | AÑO ANTERIOR | | | | | | | AÑO POSTERIOR | | | | |
| | jun | jul | ago | set | oct | nov | dic | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY |
| 70 -71 | 19.91 | 3.2 | 2.51 | 18.23 | 103.01 | 51.41 | 54.12 | 58.42 | 97.8 | 275.7 | 54.71 | 8 |
| 71 -72 | 12.2 | 17.6 | 17.2 | 28.1 | 89.8 | 45.81 | 66.54 | 55.5 | 67.6 | 113.81 | 76.2 | 18.1 |
| 72 -73 | 4.4 | 3.4 | 20.6 | 29 | 31.41 | 66.52 | 50.22 | 95.39 | 70.82 | 92.5 | 101.61 | 23.8 |
| 73 -74 | 28.73 | 8.46 | 19.4 | 91.04 | 67.02 | 65.51 | 75 | 61.62 | 140 | 89.11 | 59.02 | 4.64 |
| 74 -75 | 17.33 | 6.53 | 27.3 | 38.72 | 70.71 | 55.1 | 76.81 | 95.61 | 156.5 | 202.02 | 68.82 | 66.81 |
| 75 -76 | 10.02 | 7.2 | 19.3 | 45.11 | 80.2 | 65.1 | 0.9 | 130.4 | 62.93 | 81.32 | 34.51 | 43.01 |
| 76 -77 | 23.01 | 0.12 | 4.41 | 12.32 | 32.2 | 71.6 | 44.42 | 129.91 | 146.4 | 141.93 | 42.6 | 25.52 |
| 77 -78 | 8 | 7.52 | 0.12 | 16.1 | 53.41 | 54.8 | 68.22 | 12.71 | 34.41 | 48.8 | 37.02 | 65.6 |
| 78 -79 | 3.9 | 4.4 | 3.8 | 25.01 | 24.4 | 54.01 | 44.81 | 84.11 | 81.61 | 159.7 | 37.1 | 16.3 |
| 79 -80 | 1.81 | 7.5 | 15.7 | 33.6 | 24.4 | 26.3 | 46.61 | 34.9 | 42.4 | 65 | 29.31 | 6.91 |
| 80 -81 | 15.1 | 3.2 | 6.71 | 2.3 | 130.4 | 111 | 106.7 | 78.2 | 186.51 | 105.7 | 33.72 | 14.7 |
| 81 -82 | 6.6 | 7.2 | 12.7 | 22.01 | 111.9 | 45.6 | 111.3 | 71.7 | 102.9 | 75.7 | 88.7 | 38.2 |
| 82 -83 | 7.8 | 2.1 | 6.6 | 43.9 | 124.8 | 67.3 | 87.4 | 116.6 | 75.7 | 152.8 | 105.7 | 31.1 |
| 83 -84 | 10.1 | 9.6 | 2.7 | 19.2 | 86.9 | 28.1 | 118.4 | 24.7 | 233.6 | 123.8 | 80 | 69.5 |
| 84 -85 | 25.1 | 23.4 | 18.7 | 36.7 | 68.6 | 97.6 | 104.1 | 24.6 | 42.4 | 26 | 41.9 | 53 |
| 85 -86 | 0.4 | 4.8 | 18.3 | 37.3 | 50 | 23.9 | 40.3 | 84.41 | 47.7 | 96.8 | 120.2 | 16.2 |
| 86 -87 | 0.6 | 1.2 | 14.6 | 1.3 | 43.6 | 66.2 | 51.8 | 98.2 | 95.2 | 39.2 | 52.2 | 9.1 |
| 87 -88 | 4 | 10.8 | 12.3 | 39.51 | 37.2 | 74.3 | 61.5 | 109.7 | 105.5 | 44.8 | 95.6 | 10.61 |
| 88 -89 | 5.4 | 0 | 0.4 | 32.9 | 69.4 | 65.2 | 63.4 | 87 | 158.8 | 113.5 | 85.4 | 18.8 |
| 89 -90 | 16.7 | 3.2 | 5.9 | 53.5 | 106.6 | 47.1 | 2.7 | 101.8 | 68.5 | 58.3 | 27.4 | 39.5 |
| 90 -91 | 24.6 | 0.8 | 7.1 | 20.1 | 87.6 | 99.1 | 72.3 | 43.8 | 90 | 133.7 | 55.2 | 17.9 |
| 91 -92 | 0.7 | 0.4 | 0.3 | 10.2 | 28.2 | 55.1 | 71.9 | 52.6 | 31.8 | 66.6 | 46.5 | 18.9 |
| 92 -93 | 21.2 | 4.6 | 10 | 40.8 | 64 | 32 | 34.1 | 61 | 112.2 | 245 | 102.9 | 30.2 |
| 93 -94 | 1.9 | 3.3 | 2.9 | 51.4 | 106.3 | 71.4 | 84.1 | 116.9 | 103.1 | 170.2 | 144.9 | 35.3 |
| 94 -95 | 3.3 | 0 | 0.2 | 11.9 | 27.2 | 89.8 | 122.6 | 44.7 | 108.3 | 75.7 | 49.7 | 20.6 |
| 95 -96 | 1.7 | 13.2 | 10.8 | 11.5 | 51.8 | 50.5 | 76.4 | 65.2 | 124 | 120.1 | 50.4 | 13.7 |
| 96 -97 | 0.8 | 0.5 | 15.8 | 13.9 | 76.2 | 68.8 | 34.1 | 63.8 | 152.9 | 26.5 | 40.4 | 17 |
| 97 -98 | 15.4 | 0.2 | 0 | 27.4 | 50.8 | 119.9 | 129.4 | 103 | 116.5 | 257 | 83.9 | 19.6 |
| 98 -99 | 4.8 | 1.3 | 4.7 | 17.8 | 79.6 | 29.1 | 47.9 | 94.8 | 242.7 | 69.5 | 65 | 53.7 |
| 99 -2000 | 22.8 | 22.1 | 1.2 | 81.4 | 21.7 | 77 | 68.2 | 46 | 162.3 | 126.3 | 77.3 | 40.51 |
| 2000 -2001 | 15.61 | 2.11 | 13.4 | 56.61 | 9.92 | 44.5 | 122.3 | 191.21 | 100.8 | 230.2 | 57.2 | 48.14 |
| 2001 -2002 | 2.35 | 13.91 | 0.02 | 34.43 | 46.23 | 93.41 | 90.91 | 27.02 | 60 | 133.12 | 77.21 | 23.04 |
| 2002 -2003 | 8.81 | 10.72 | 3.4 | 14.62 | 90.3 | 99.91 | 86.1 | 51.13 | 61.43 | 103.62 | 42.1 | 30.71 |
| 2003 -2004 | 22.32 | 1.81 | 10.6 | 14.84 | 46.03 | 63.81 | 80.72 | 36.1 | 102 | 56.9 | 44.52 | 42.4 |
| 2004 -2005 | 2.11 | 13.8 | 29.4 | 19.01 | 63.41 | 92.6 | 123.71 | 84.92 | 53.7 | 136.6 | 54.01 | 7.21 |
| 2005 -2006 | 4.5 | 0.6 | 3.5 | 31.21 | 92.3 | 30 | 87.8 | 83.2 | 101.6 | 199.3 | 77.61 | 7.7 |
| 2006 -2007 | 23.92 | 1.82 | 6.11 | 33.61 | 12.71 | 60.4 | 81.7 | 95.4 | 17.51 | 182.4 | 111.51 | 29 |
| 2007 -2008 | 1.42 | 10.74 | 6.41 | 11.62 | 118.9 | 97.61 | 68.8 | 80.24 | 133.3 | 118.4 | 99.12 | 22.72 |
| 2008 -2009 | 15.45 | 2.31 | 11.7 | 34.72 | 96.51 | 72.02 | 34.43 | 180.71 | 74.61 | 110.52 | 78.81 | 42.2 |
| 2009 -2010 | 17.91 | 12.32 | 3.92 | 11.8 | 78.53 | 109.41 | 74.22 | 49.52 | 112.91 | 154.02 | 88.41 | 31.64 |
| 2010 -2011 | 4.58 | 2.21 | 0 | 1.76 | 28.7 | 23.5 | 59.69 | 22.08 | 43.54 | 65.38 | 44.62 | 6.03 |
| 2011 -2012 | 0.38 | 8.32 | 0.03 | 47.12 | 31.5 | 24.41 | 109.71 | 154.22 | 134.7 | 126.4 | 72.82 | 51.51 |
| 2012 -2013 | 0.21 | 0 | 0 | 19.12 | 83.22 | 120.31 | 58.3 | 61.52 | 98.01 | 213.6 | 73.81 | 62.63 |
| 2013 -2014 | 7.5 | 5.7 | 8.93 | 3.7 | 110.7 | 17 | 51.91 | 74.7 | 62.41 | 143.2 | 78.82 | 26.92 |
| 2014 -2015 | 5 | 2 | 3.91 | 27.71 | 26.32 | 45.7 | 114.9 | 184.71 | 55.4 | 202.2 | 63 | 75.82 |
| 2015 -2016 | 3 | 4.4 | 0.1 | 27.8 | 16.81 | 95.6 | 95.7 | 82.8 | 71.7 | 54.3 | 38.9 | 4.5 |
| 2016 -2017 | 5.6 | 0.1 | 0.4 | 18.9 | 48.4 | 15 | 130.1 | 115.3 | 42.6 | 202.4 | 98 | 33.6 |
| 2017 -2018 | 34.5 | 0 | 21.1 | 13.2 | 78.7 | 34.2 | 108 | 59.9 | 96.7 | 110.9 | 62.2 | 60.1 |
| 2018 -2019 | 2.6 | 0 | 0 | 26.5 | 66.1 | 110.6 | 81.3 | 47 | 154.2 | 214.2 | 52.9 | 27.3 |

Fuente: Rodríguez, 2016.

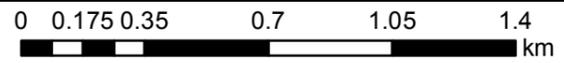
**2. PARÁMETROS DE SISMICIDAD UTILIZADOS EN EL SOFTWARE
LOADCAP 2014**

| CATEGORÍA PERFIL ESTRATIGRÁFICO (S) | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN TOPOGRÁFICA (St) | ACELERACIÓN MÁXIMA HORIZONTAL | |
|---|---|----------------------------------|-----------|
| <p>Tipo A: S=1 Suelos litológicos o suelos homogéneos muy rígidos.</p> <p>Tipo B: S=1.25 Depósitos de arenas o gravas muy adensadas o arcillas muy consistentes.</p> <p>Tipo C: S=1.25 Depósitos de arenas y grabas medianamente adensadas o arcillas de media consistencia.</p> <p>Tipo D: S=1.35 Depósitos de terrenos granulares de sueltos a poco adensados o cohesivos de poco a medianamente consistentes.</p> <p>Tipo E: S=1.25 Perfil de terreno constituido por estratos superficiales aluvionales.</p> | <p>ST = St = 1.4 Sitios cercanos a la cúspide de perfiles topográficos con amplitud en cresta muy inferior al largo de la base y pendiente media mayor a 30°</p> <p>ST=St=1.2 Idéntico al anterior para sitios del mismo tipo pero con pendientes de 15° a 30°.</p> <p>ST=St=1.2 Para sitios en proximidad del borde superior de taludes aislados mayor a 15°</p> <p>St=1 En Rocas.</p> | Zona Sísmica | ag |
| | | 1 | 0.10 |
| | | 2 | 0.25 |
| | | 3 | 0.35 |
| | | 4 | 0.45 |



SIMBOLOGÍA

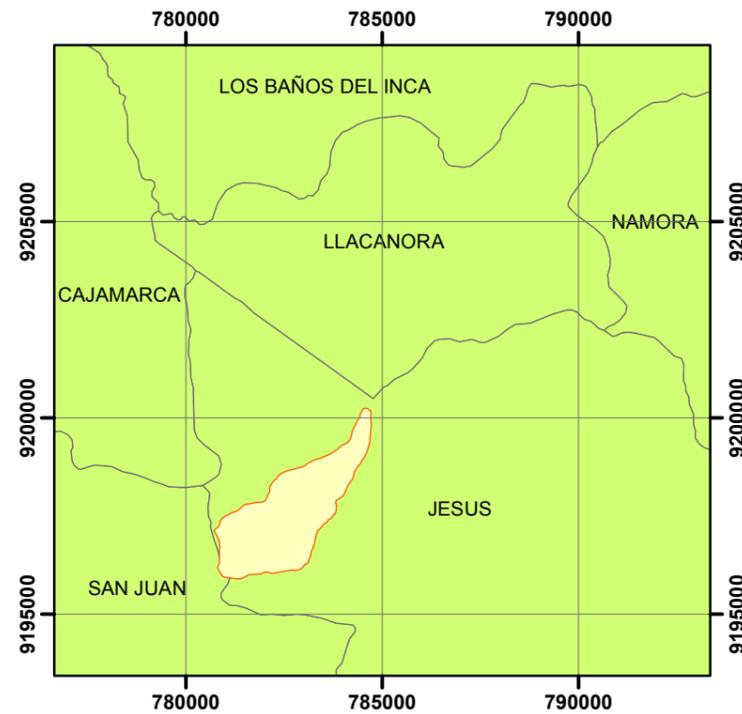
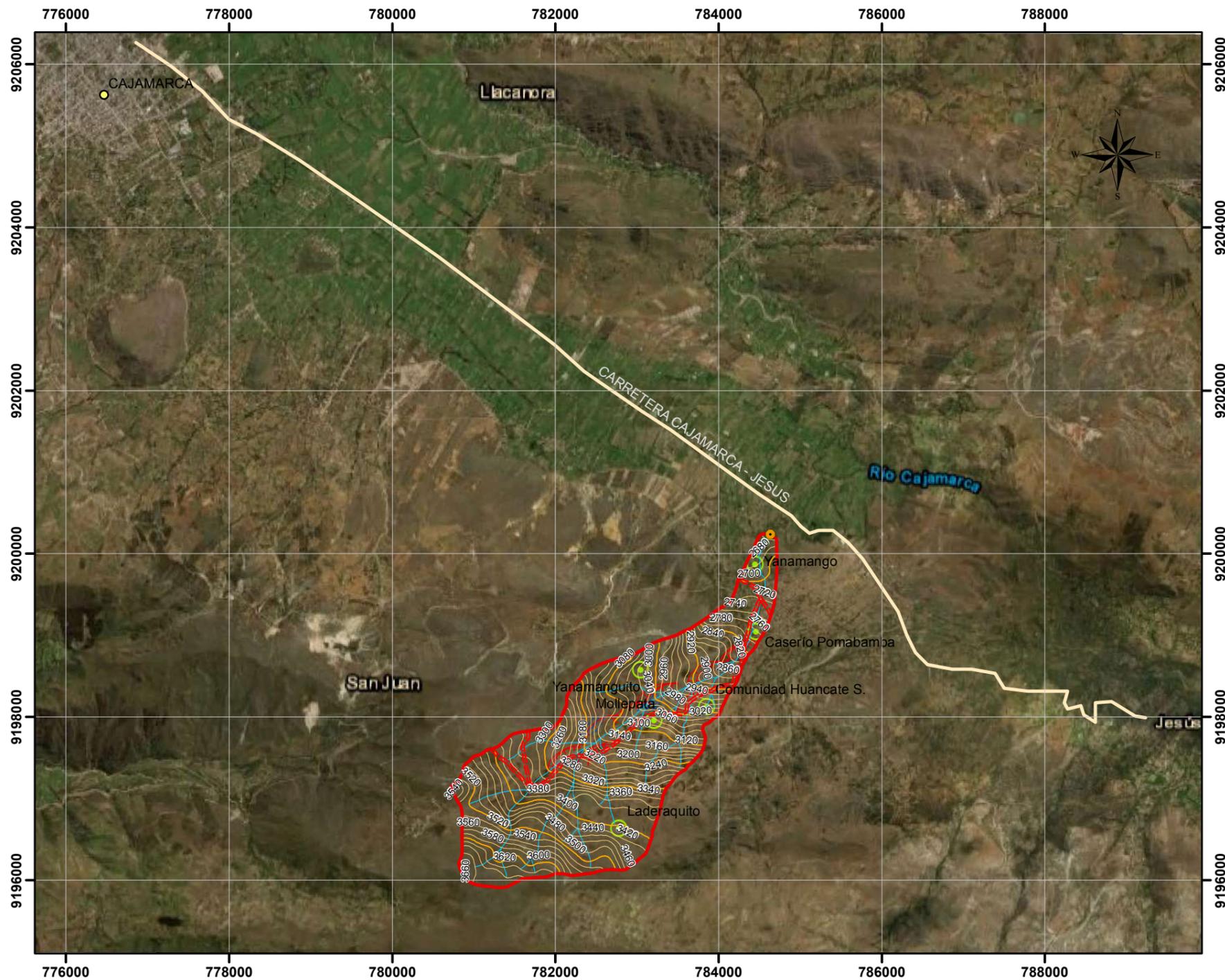
- MICROCUENCA
- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- DRENAJES
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPALES
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
- PUEBLOS



ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS1984

| | | |
|--|--|-------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA | | |
| Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |
| TESIS PROFESIONAL: MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | |
| PLANO: | IMAGEN SATELITAL | PLANO N°. 01 |
| ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | |
| TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA | |
| ESCALA: | 1/20000 | DATUM: WGS 84 |
| | | FECHA: AGOSTO 2021 |



SIMBOLOGÍA

- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- ⬮ MICROCUENCA
- TROCHA CARROZABLE
- ~ CURVAS DE NIVEL PRINCIPALES
- ~ CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
- ~ DRENAJES
- ⊙ PUEBLOS
- CARRETERA

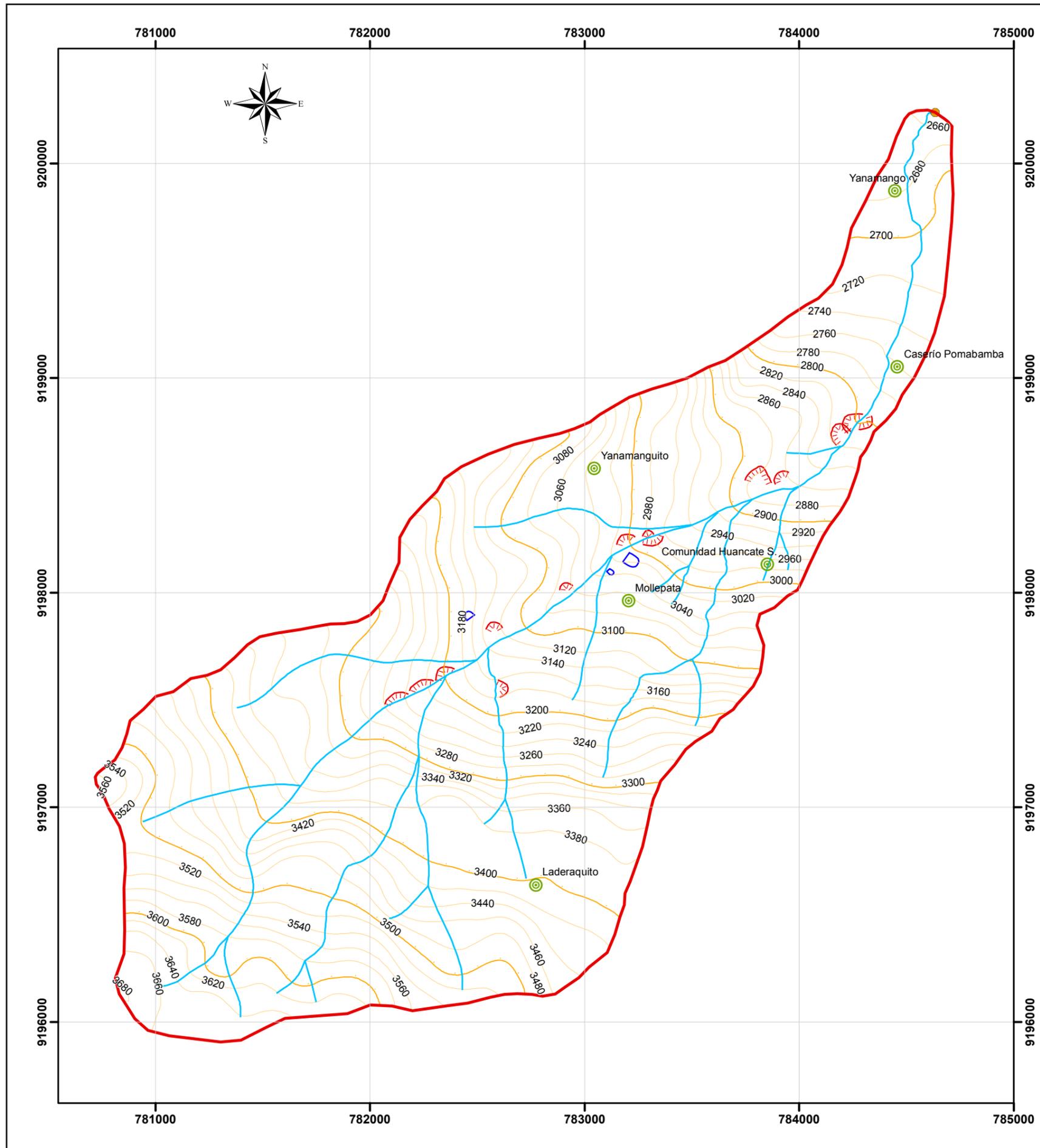


ESCALA 1:60,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

| | | | | | |
|--|--|---|--------|--------|-------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | | | | |
| TESIS PROFESIONAL: MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | | | | |
| PLANO: | ACCESIBILIDAD | PLANO N°: 02 | | | |
| ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO | | | | |
| TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA | | | | |
| ESCALA: | 1/60 000 | DATUM: | WGS 84 | FECHA: | AGOSTO 2021 |





SIMBOLOGÍA

- MICROCUENCA
- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- PUEBLOS
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA

EVENTOS GEODINÁMICOS

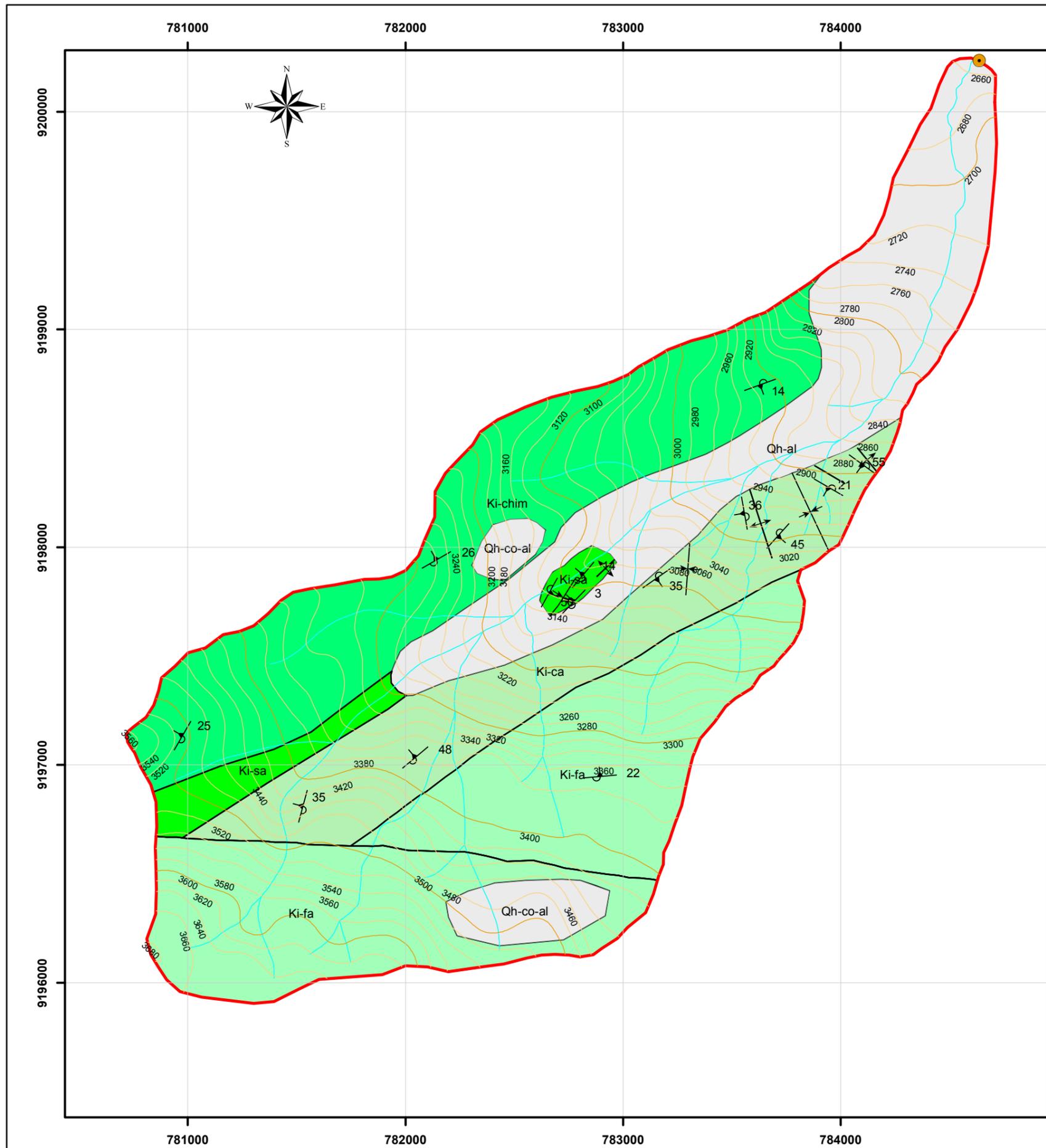
- DESLIZAMIENTO
- REPTACIÓN



ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

| | | |
|--|---|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |
| TESIS PROFESIONAL. MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | |
|  | PLANO: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES ASESOR: Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO TESISTA: ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA ESCALA: 1/20000 DATUM: WGS 84 FECHA: AGOSTO 2021 | PLANO N°: 03 |



SIMBOLOGÍA

- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- Microcuenca

PLIEGUES

- Anticlinal
- Sinclinal
- Fallas
- BUZAMIENTOS

- CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA
- DRENAJES

| LEYENDA | | | | |
|-----------|-------------|----------|--------------------------|------------|
| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS | SIMBOLOGÍA |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Depósito Aluvial | Qh-al |
| | | | Depósito Coluvio-aluvial | Qh-co-al |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | Fm. Farrat | Ki-fa |
| | | | Fm. Carhuaz | Ki-ca |
| | | | Fm. Santa | Ki-sa |
| | | | Fm. Chimú | Ki-chi |

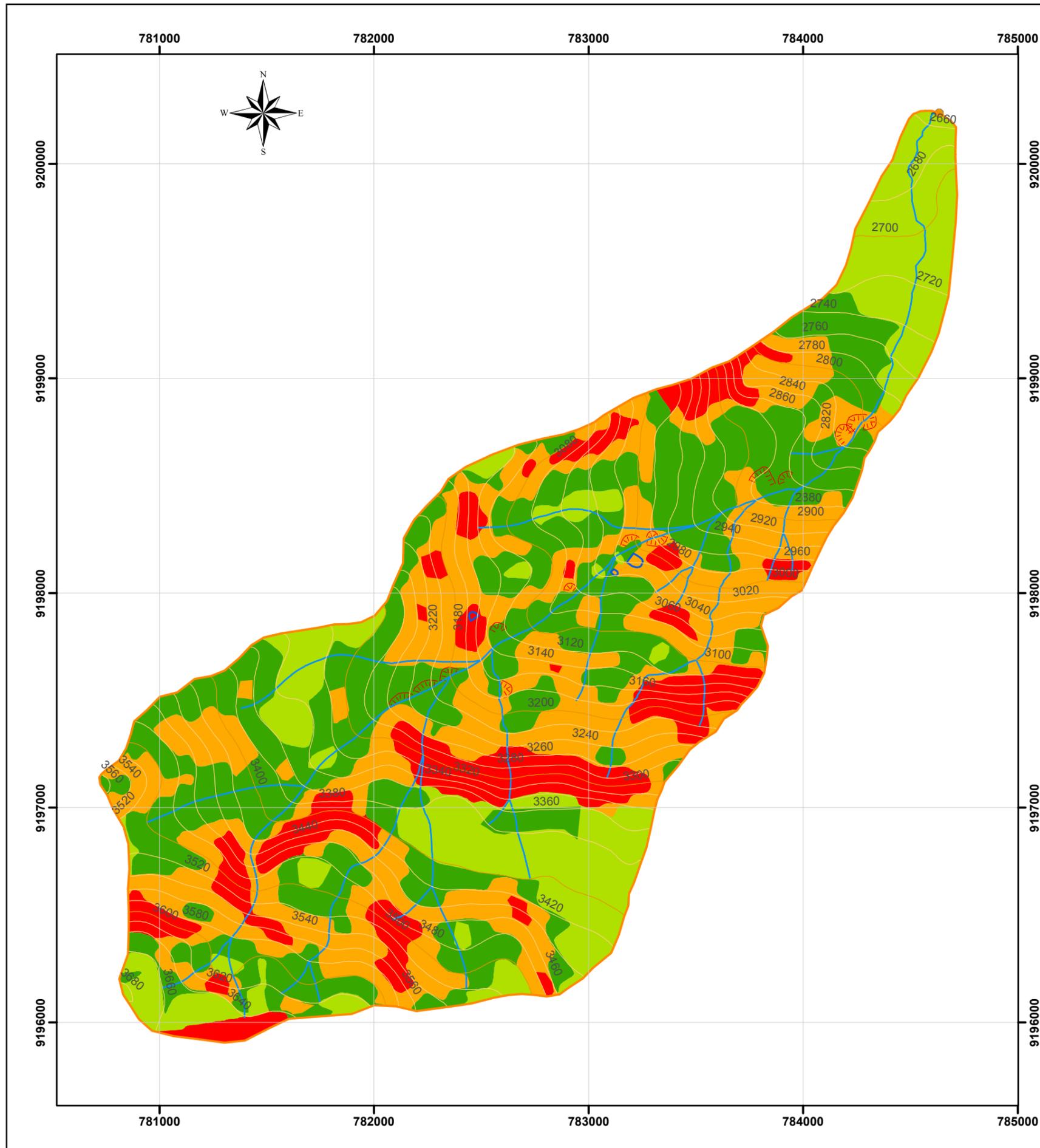


ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

| | | | |
|---------|--|--|--|
| | TESIS PROFESIONAL: MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | PLANO N.º: 04 |
| | PLANO: | GEOLÓGICO | |
| | ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | |
| | TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA | |
| ESCALA: | 1/20000 | DATUM: WGS 84 | FECHA: AGOSTO 2021 |



SIMBOLOGÍA

- MICROCUENCA
- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPALES
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIAS
- DRENAJES

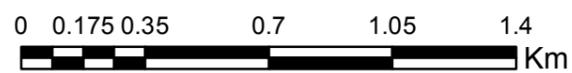
EVENTOS GEODINÁMICOS

- DESLIZAMIENTO
- REPTACIÓN

LEYENDA

- 0-8 PLANICIE
- 8-20 LOMADA
- 20-50 LADERA
- >50 ESCARPA

| TIPO DE RELIEVE | GEOMETRÍA | LITOLOGÍA | ORIGEN | EDAD DE LA LITOLOGÍA | | |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------|--|----------------------|----------|--------------|
| | | | | PERIODO | ÉPOCA | EDAD |
| UNIDAD MORFOGENÉTICA (UM) | PENDIENTE | ASOCIADA A SU COMPOSICIÓN | ASOCIADO AL EVENTO O PROCESO GEOLÓGICO | | | |
| Planicies, Lomadas, Laderas, Escarpas | 0° - 56° | Depósitos al | Transportado | Cuaternario | PI-Ho | |
| Lomadas, Laderas | 8° - 32° | Depósitos co-al | Transportado | Cuaternario | PI-Ho | |
| Planicies, Lomadas, Laderas, Escarpas | 4° - 55° | Fm. Farrat | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Aptiano |
| Planicies, Lomadas, Laderas, Escarpas | 2° - 60° | Fm. Carhuaz | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Barremiano |
| Planicie, Lomadas, Laderas | 0° - 45° | Fm. Santa | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Valanginiano |
| Planicies, Lomadas, Laderas, Escarpas | 15° - 38° | Fm. Chimú | Sedimentario | Cretácico | Inferior | Valanginiano |



ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

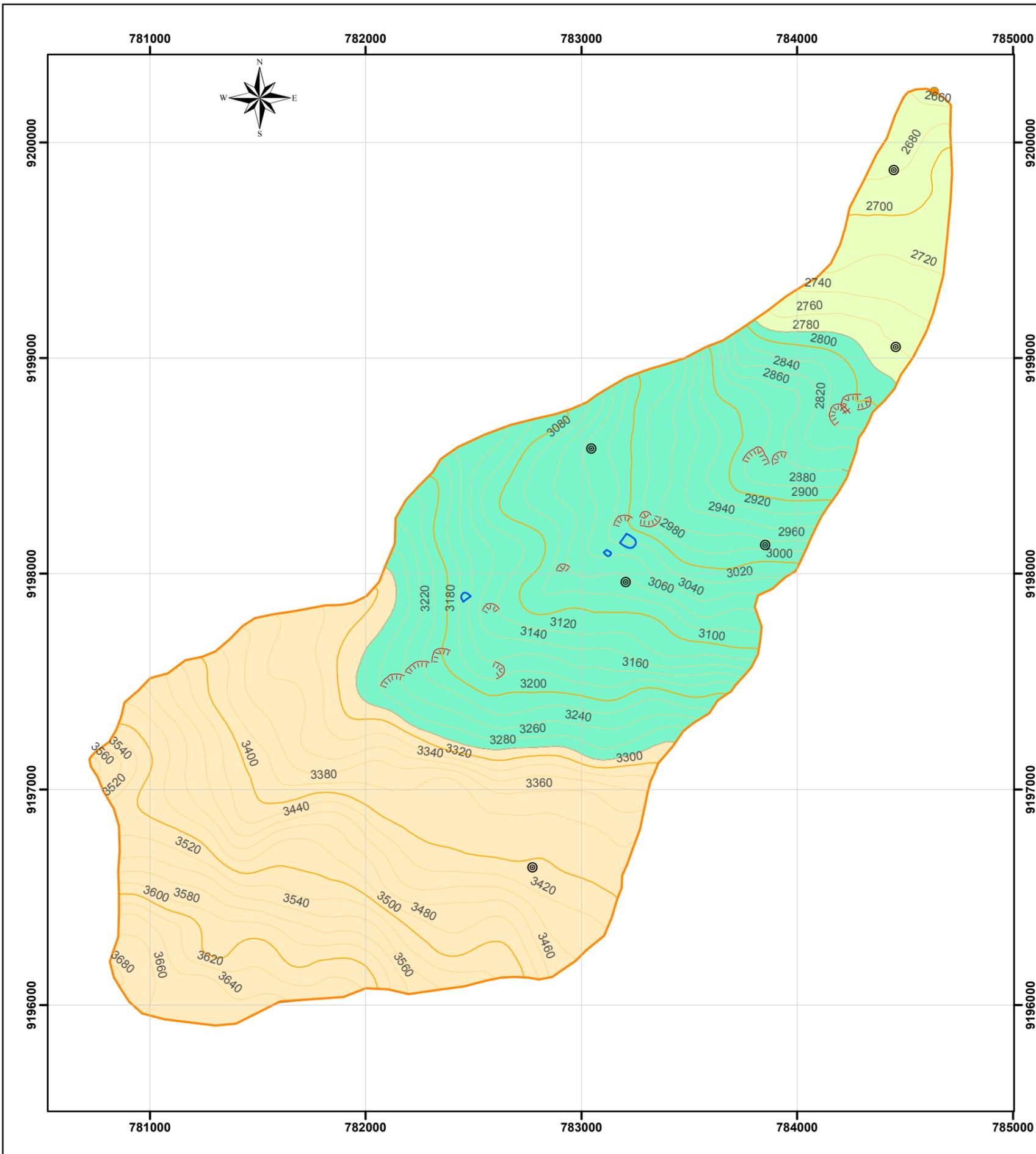
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica



TESIS PROFESIONAL:
 MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN
 MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS

PLANO N°:
05

| | |
|----------|--|
| PLANO: | UNIDADES MORFOGENÉTICAS Y PENDIENTES |
| ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO |
| TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA |
| ESCALA: | 1/20000 |
| DATUM: | WGS 84 |
| FECHA: | AGOSTO 2021 |



SIMBOLOGÍA

- Microcuenca
- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- PUEBLOS
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIO
- DRENAJE

EVENTOS GEODINÁMICOS

- DESLIZAMIENTO
- REPTACIÓN

LEYENDA

ELEVACIÓN

- 2660 - 2800
- 2800 - 3300
- 3300 - 3680

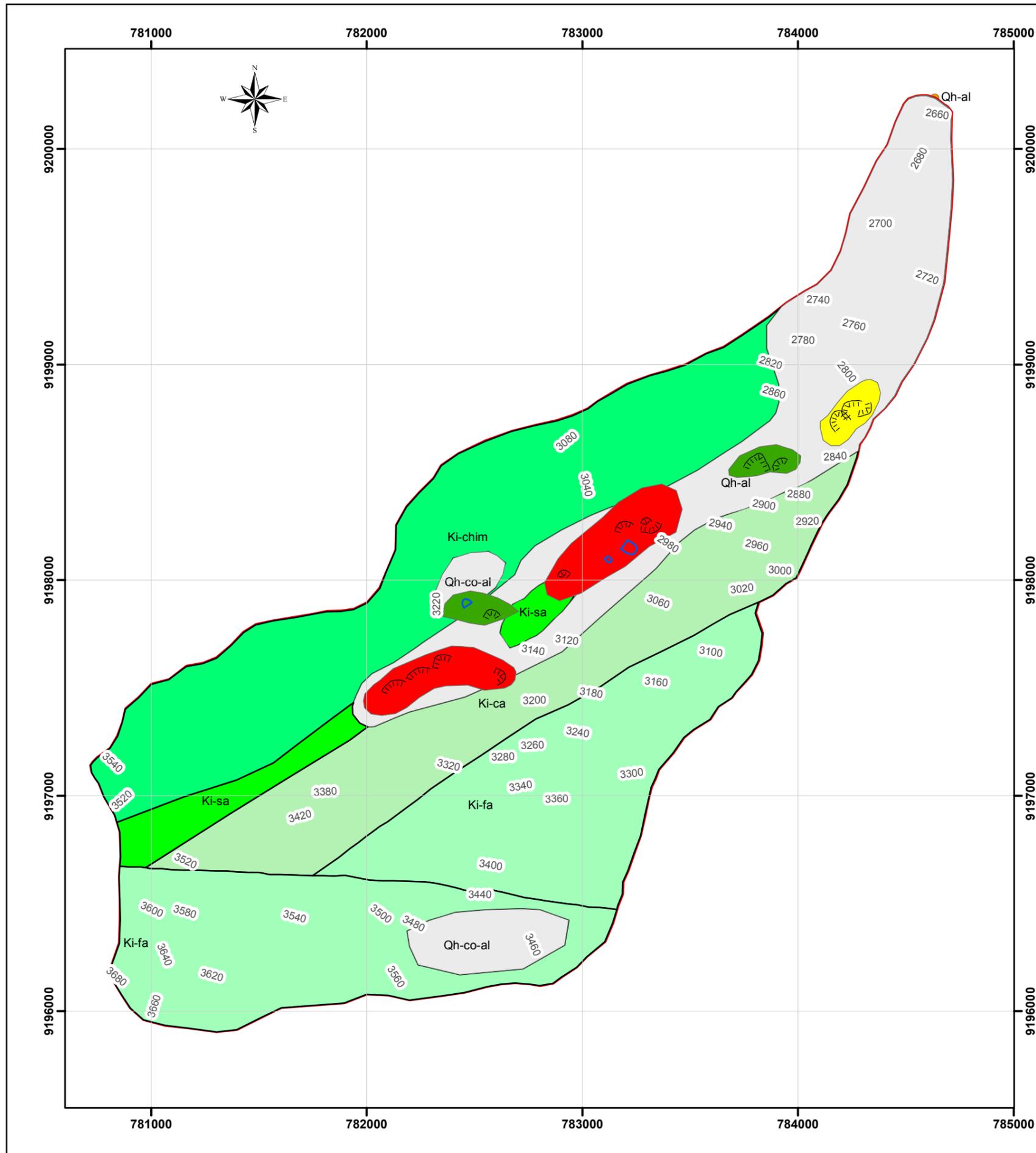
0 0.175 0.35 0.7 1.05 1.4 Km

ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

| | | | |
|----------|---|-------------|------------------------|
| | TESIS PROFESIONAL: | | PLANO N°: 06 |
| | MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN | | |
| | MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | |
| | PLANO: | ALTITUDINAL | |
| ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | | |
| TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA | | |
| ESCALA: | 1/20000 | DATUM: | WGS 84 |
| | | FECHA: | AGOSTO 2021 |



SIMBOLOGÍA

- PUNTO DE AFORO DE LA MICROCUENCA
- Microcuenca
- DRENAJE

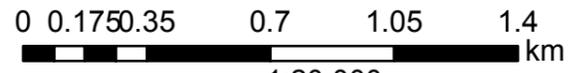
EVENTOS GEODINÁMICOS

- DESLIZAMIENTO
- REPTACIÓN

ZONAS DE INESTABILIDAD

- ZONA MODERADAMENTE INESTABLE
- ZONA INESTABLE
- ZONA ALTAMENTE INESTABLE
- CURVAS DE NIVEL PRINCIPAL
- CURVAS DE NIVEL SECUNDARIA

| LEYENDA | | | | |
|-----------|-------------|----------|--------------------------|------------|
| ERATEMA | SISTEMA | SERIE | UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS | SIMBOLOGÍA |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | RECIENTE | Depósito Aluvial | |
| | | | Depósito Coluvio-aluvial | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | Fm. Farrat | |
| | | | Fm. Carhuaz | |
| | | | Fm. Santa | |
| | | | Fm. Chimú | |



ESCALA 1:20,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS1984

| | | | |
|--|--|---------------|------------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | | |
| TESIS PROFESIONAL: MODELO GEODINÁMICO DE LA QUEBRADA ANDADEN MICROCUENCA YANAMANGO - DISTRITO DE JESÚS | | | |
| PLANO: | GEODINÁMICO | | PLANO N°. 07 |
| ASESOR: | Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO | | |
| TESISTA: | ANGELA ROXANA ALVARADO HUACCHA | | |
| ESCALA: | 1/20000 | DATUM: WGS 84 | FECHA: AGOSTO 2021 |