

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



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS GEODINÁMICO DE LAS ZONAS INESTABLES
EN LOS ALREDEDORES DEL POBLADO DE JESÚS**

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

BACH. LEYSI MARILYN FUENTES PEREZ

Asesor

ING. SEGUNDO REINALDO RODRIGUEZ CRUZADO

Cajamarca - Perú

2017

AGRADECIMIENTO

A mi alma máter, la Universidad Nacional de Cajamarca.

Un profundo agradecimiento, a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, por los conocimientos brindados y por la paciencia en la enseñanza.

Además mi sincero reconocimiento a mis padres, mis hermanos, y a todas las personas que de una u otra manera han apoyado para la realización de la presente tesis.

Al Ing. Reinaldo Rodríguez Cruzado asesor de la presente tesis profesional, por sus conocimientos y por el tiempo dedicado.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la dicha de la vida, y con ella las mil y un bendiciones que día a día experimento.

A mis padres Maruja y José por su amor, apoyo y sacrificio incondicional, los que siempre me incentivan a seguir luchando por alcanzar mis metas y a los que admiro y amo con todo mi ser. A mi tía Eulalia, a mis hermanos Analy y Santiago por su amor, bondad y apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, y por ser mi soporte en cada momento.

A mi sobrino David por enseñarme a creer en milagros, a confiar, a luchar, a siempre seguir y por ser el un milagro viviente; y a mis amigos Nora, Gaby, Carla e Isaac, por su apoyo incondicional. Y por último a Reyes, por ser amigo, compañero, cómplice y mi amor.

Leysi.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOS.....	xi
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2 BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1 Geodinámica	5
2.2.2 Deslizamientos.....	5
2.2.3 Mecánica de Suelos	10
2.2.4 Sismicidad.....	10
2.2.5 Precipitaciones	11
2.2.6 Método del Equilibrio Límite	14
2.2.7 Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	25
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	26
CAPÍTULO III	28
MATERIALES Y METODOS.....	28
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.2 ACCESIBILIDAD.....	29
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	31
3.4. PROCEDIMIENTOS.....	31
3.4.1. Definición de variables	31
3.4.2. Tipo y Método de la Investigación	31
3.4.3. Población de estudio	31
3.4.4. Muestra	32
3.4.5. Unidad de análisis.....	32
3.4.6. Técnicas	32
3.4.7. Instrumentos y Equipos	32
3.4.8. Etapas de Generación de la Tesis	34

	Pág.
CAPÍTULO IV.....	36
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
4.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	36
4.1.1 Estructuras Afines o continuas	36
4.1.2 Estructuras Discontinuas o Afines.....	37
4.2. GEOMORFOLOGÍA.....	38
4.2.1. Planicies.....	39
4.2.2. Lomadas.....	39
5.2.3. Laderas.....	40
4.2.4. Escarpas	41
4.3. GEOLOGÍA LOCAL.....	41
4.3.1. Grupo Goyllarisquizga.....	42
4.3.2. Depósitos Cuaternarios.....	43
4.4. ESTUDIO GEODINÁMICO.....	44
4.4.1. Clasificación de Suelos (SUCS).....	45
4.4.2. Cálculo de los coeficientes de aceleración horizontal y coeficiente de aceleración vertical	50
4.4.3 Análisis de Precipitaciones	52
4.4.4 Estaciones Geodinámicas	60
Estación N° 1	60
Estación N° 2.....	74
Estación N° 3.....	60
Estación N° 4.....	60
Estación N° 5.....	60
4.4.5 Contrastación con la Hipótesis	99
CAPÍTULO V	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. CONCLUSIONES	100
5.2. RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

ANEXO I: ANALISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Deslizamiento N° 1 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 1 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 1 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 2 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 2 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 2 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 3 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 3 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 3 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 4 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 4 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 4 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 5 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 5 : condición 3 - Saturación total.
- Deslizamiento N° 5 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 6 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 6 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 6 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 7 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 7 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 7 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 8 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 8 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 8 : condición 4 - Sismicidad Máxima.
- Deslizamiento N° 9 : condición 2 - Saturación Media.
- Deslizamiento N° 9 : condición 3 - Saturación Total.
- Deslizamiento N° 9 : condición 4 - Sismicidad Máxima.

ANEXO II: PLANOS

P-01	Plano de Ubicación
P-02	Imagen Satelital
P-03	Modelo Digital de Elevaciones
P-04	Unidades Morfogenéticas
P-05	Plano Geomorfológico
P-06	Plano Geológico
P-07	Factor de Seguridad Estado Normal
P-08	Factor de Seguridad Saturación Media
P-09	Factor de Seguridad Saturación Total
P-10	Factor de Seguridad Sismicidad Máxima
P-11	Factor de Seguridad Saturación Media y Sismicidad Máxima

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1: Clasificación de suelo en función de su granulometría.....	10
Tabla N° 2: Factor de Transposición de Precipitaciones.....	14
Tabla N° 3: Ecuaciones de equilibrio satisfechas por los métodos de equilibrio límite a utilizar en los cálculos.....	24
Tabla N° 4: Coordenadas UTM. de los vértices de la zona.....	29
Tabla N° 5: Definición de variables.....	31
Tabla N° 6: Matriz de recolección de datos de deslizamientos.....	33
Tabla N° 7: Unidades Morfogenéticas.....	39
Tabla N° 8: Resultados SUCS de la muestra N° 1.....	45
Tabla N° 9: Resultados de la clasificación SUCS de la muestra N° 2.....	46
Tabla N° 10: Criterios para la asignación de símbolos de grupos con el uso de ensayos de laboratorio	48
Tabla N° 11: Parámetros característicos del Suelo.....	49
Tabla N° 12: Parámetros a tener en cuenta para el cálculo de los coeficientes de aceleración horizontal y vertical.....	50
Tabla N° 13: Factores de zona.....	51
Tabla N° 1: Coeficiente de aceleración horizontal y vertical aplicables a la zona..	52
Tabla N° 2: Ubicación de la Estación Metereológica Augusto Weberbauer.....	52
Tabla N° 16: Datos de precipitación de la estación Weberbauer.....	54
Tabla N° 17: Cálculo del factor de transposición de precipitaciones.....	55
Tabla N° 18: Data de precipitaciones de la zona de estudio.....	56
Tabla N° 19: Matriz de información del deslizamiento N° 1.....	60
Tabla N° 3: Matriz de datos del deslizamiento N° 2.....	64
Tabla N° 21: Matriz de datos del deslizamiento N° 3.....	67
Tabla N° 22: Matriz de datos del deslizamiento N° 4.....	70
Tabla N° 23: Matriz de datos del deslizamiento N° 5.....	75
Tabla N° 24: Matriz de datos del deslizamiento N° 6.....	79
Tabla N° 25: Matriz de datos del deslizamiento N° 7.....	84
Tabla N° 26: Matriz de datos del deslizamiento N° 8.....	89
Tabla N° 27: Matriz de datos del deslizamiento N° 9.....	92
Tabla N°28: Cuadro resumen de los parámetros característicos del material que compone a cada deslizamiento	95

	Pág
Tabla N° 29: Resumen de los factores de Seguridad obtenidos para cada deslizamiento según los métodos usados en el software Slide.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 : Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento. ...	6
Figura N° 2 : Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG	7
Figura N° 3 : Esquema de un deslizamiento rotacional típico. (Skempton & Hutchinson. 1969).	8
Figura N° 4 : Esquema de un deslizamiento del tipo translación. (Skempton & Hutchinson. 1969).	8
Figura N° 5 : Pluviómetro. (Villón, 2002)	12
Figura N° 6 : Pluviograma de registro que genera un pluviómetro. Villón, 2002)	13
Figura N° 7 : Equilibrio Límite - método de las rebanadas para cálculo de la estabilidad. (Herrera, 2003)	15
Figura N° 8 : Fuerzas que actúan sobre una rebanada- Equilibrio Límite (Herrera, 2003)	16
Figura N° 9 : Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Mongenster y Price y representación del conjunto. (Herrera, 2003).....	18
Figura N° 10 : Método de Bishop para el cálculo de la estabilidad. (Herrera 2003)	19
Figura N° 11 : Método de Spencer para el cálculo de la estabilidad. (Herrera, 2003).....	21
Figura N° 12 : Acciones en la i-ésima rebanada, método de Sarma. (Herrera 2003)	23
Figura N° 13 : Ubicación del Distrito de Jesús en la Provincia de Cajamarca. (Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Jesús, 2003)	28
Figura N° 14 : Imagen satelital de la zona de estudio. (Google Earth 2017).....	29
Figura N° 15 : Imagen satelital de la accesibilidad a la zona, en color amarillo se observa el acceso principal desde el distrito de Cajamarca hasta el distrito de Jesús.	1
Figura N° 16 : Etapas para la elaboración de la tesis, elaborando el modelo geodinámico.	35
Figura N° 17 : Zonificación sísmica del Perú.	51
Figura N° 18 : Ubicación de la Estación Metereológica Augusto Weberbauer - UNC. .	53

Figura N° 19	: Imagen satelital de la Estación geodinámica N° 1, en ella se observa el Dz-01, Dz-02, Dz03 y Dz-04, este último es un paleodeslizamiento. Fuente: (Google earth, 2017).....	60
Figura N° 20	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 01.....	60
Figura N° 21	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-01.....	61
Figura N° 22	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 02.....	60
Figura N° 23	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-02.....	61
Figura N° 24	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 03.....	60
Figura N° 25	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-03.....	61
Figura N° 26	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 04.....	60
Figura N° 27	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-04.....	61
Figura N° 28	: Imagen satelital en la estación N° 2 del Dz-05, del tipo rotacional. Se observa la zona pantanosa en la parte alta del deslizamiento en coloro amarillo y en color rojo el deslizamiento delimitado. Fuente: (Google earth, 2017).....	74
Figura N° 29	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 05.....	60
Figura N° 30	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-05.....	61
Figura N° 31	: Deslizamiento 06 en la Estación N° 3, tipo traslacional, con eje principal al SE y en material coluvio-aluvial.Fuente: (Google earth. 207)	60
Figura N° 32	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 06.....	60

Figura N° 33	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-06.	61
Figura N° 34	: Imagen satelital del deslizamiento Dz-07 en la estación N°4, el material de composición presenta gravas , bloques grandes dentro de una matriz de arena y finos (depósito cuaternario tipo coluvio-aluvial); el eje principal del deslizamiento presenta una dirección NW. Fuente: (Google earth, 2017)	60
Figura N° 35	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 07.	60
Figura N° 36	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-07.	61
Figura N° 37	: Imagen satelital del Dz-08 y Dz-09 en la estación N° 5, el eje principal del Dz-08 está en dirección SWy del Dz-09 en dirección NE; ambos se encuentran sobre depósitos coluvio-aluviales.	60
Figura N° 38	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 08.	60
Figura N° 39	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-08.	61
Figura N° 40	: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 09.	60
Figura N° 41	: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-09.	61

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1	A. Plegamiento hallado en la Formación Farrat (NW-SE), producto de esfuerzos compresivos. B. Plegamiento en la Formación Farrat con dirección NE-SW.	36
Foto N° 2	A.Falla con dirección N 187°, Dip 72° y Dip Direction 264, afloramiento en la Formación Farrat, en la estación N°5, deslizamiento 08 y 09.....	37

Foto N° 3	A.Fracturas del tipo abiertas y cerradas en la Formación Farrat, afloramientos en la estación N° 4, deslizamiento 07. B. Fracturas localizadas. 38	38
Foto N° 4	Planicies según la clasificación morfogenética y terraza de primer como geoforma. 39	39
Foto N° 5	Lomada presente al NE del distrito de Jesús..... 40	40
Foto N° 6	:Ladera al SW del distrito de Jesús. 40	40
Foto N° 7	Escarpes en la Formación Farrat en dirección SW del distrito de Jesús, afloramiento cercano a la estación N°4, deslizamiento 07. 41	41
Foto N° 8	A.Afloramiento de la Formación Farrat. B. Areniscas blancas de grano medio con marcada estratificación cruzada y marcas de oleaje. C. areniscas cuarzosas de la Formación Farrat. 42	42
Foto N° 9	Depósito Fluvial en los bordes del río Cajamaquino..... 43	43
Foto N° 10	A: Depósito cuaternario del tipo coluvio-aluvial. B: Clastos angulosos de diferentes tamaños de areniscas y cuarcitas presentes en la quebrada Limibamba que se encuentra al.SW del distrito de Jesús. 44	44
Foto N° 11	Depósito cuaternario tipo coluvio- aluvial, ubicado en la estación N° 1, deslizamiento N° 03. 45	45
Foto N° 12	Depósito cuaternario tipo aluvial ubicado en la estación N° 2, deslizamiento 05..... 46	46
Foto N° 13	A. Zona pantanosa de aprox. 30m, ubicada en la cabecera de la ladera. B: grietas paralelas y descendentes en la ladera. C. Grieta mayor en la parte alta de la ladera, de ancho:55 cm y D. Material coluvio-aluvial deslizando, al pie de la ladera, este material llega al puente que conecta el caserío Succha con el distrito de Jesús..... 75	75
Foto N° 14	A. Vista frontal del deslizamiento N° 7. B. Material cuaternario tipo coluvio-aluvial que conforma al deslizamiento N° 7. 61	61
Foto N° 15	A. Vista frontal del deslizamiento N° 8, donde se observa la escarpa principal. B. Vista frontal del deslizamiento N° 9, donde se observa el material no compactado. C. Quebrada que actúa como cono de deyección que conduce el material deslizado hacia la carretera que va de Cajamarca hacia el distrito de Jesús. 61	61

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

UNC	:	Universidad Nacional de Cajamarca.
INGEMMET	:	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
FPA	:	Fondo Perú- Alemania.
SUCS	:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
PP	:	Precipitación aplicable a la zona de Jesús.
PP1	:	Precipitación datada en la estación metereológica Augusto Weberbauer.
H	:	Altitud media de la zona de Jesús.
H1	:	Altitud media de la estación metereológica Augusto Weberbauer.
GeoStru	:	Comercializadora de Softwares.
FS	:	Factor de Seguridad.
MDE	:	Modelo Digital de Elevaciones.
MDT	:	Modelo Digital del Terreno.
TIN	:	Red de Triángulos Irregulares.
Dz	:	Deslizamiento.
NRP	:	Nivel referencial de precipitaciones.
C	:	Cohesión.
Φ	:	Fricción.
K_h	:	Coefficiente de aceleración sísmica horizontal.
K_v	:	Coefficiente de aceleración sísmica vertical.
NW	:	Noroeste.
NE	:	Noreste.
SW	:	Suroeste.
SE	:	Sureste.
GC	:	Grava arcillosa.
CL	:	Arcilla de baja plasticidad
Cu	:	Coefficiente de uniformidad
Cc	:	Coefficiente de curvatura
Ip	:	Índice de plasticidad
wL	:	Peso líquido
wP	:	Peso seco
Y	:	Peso específico
Ysum	:	Peso específico sumergido
Σ	:	Esfuerzo
K	:	Coefficiente de permeabilidad
%	:	Porcentaje
T/m ³	:	Tonelada/metro cúbico
kp/cm ²	:	Kilopascales/centímetro cuadrado
T/m ²	:	Tonelada/metro cuadrado
(°)	:	Grados
m/s	:	Metros/segundo

RESUMEN

Varios deslizamientos han sido reconocidos en los alrededores del distrito de Jesús, en rocas sedimentarias de la Formación Farrat, constituida por areniscas cuarzosas y la Formación Carhuáz, constituida por intercalación de areniscas y lutitas, las cuales están muy fracturadas y meteorizadas; así se encuentran depósitos cuaternarios tipos coluvio-aluvial, los cuales están afectados por precipitaciones pluviales y por la sismicidad, estas variables son condicionantes de inestabilidad en laderas y taludes, originando zonas geodinámicamente inestables; la tesis tiene por objetivo principal analizar geodinámicamente las zonas inestables en los alrededores del poblado de Jesús y para ello el tipo de investigación que se usó es del tipo descriptiva, correlacional analítica y explicativa, no experimental y transversal en el tiempo; los métodos de investigación, tenemos: descriptiva, analítica, deductiva y explicativa. La metodología consta de tres etapas, en la etapa final se analizó toda la información y los resultados obtenidos, los cuales se interpretaron, correlacionaron y contrastaron con la hipótesis; como que; En el análisis de precipitaciones se utilizó como nivel referencial de precipitaciones (NRP) la fecha de 21 de marzo del 2015, observando que las precipitaciones aumentaron de forma significativa a partir del año 2011, superando en los años posteriores la línea de NRP en los meses de diciembre a abril; se analizó la sismicidad con su K_h y K_v , tomando en cuenta la zonificación sísmica, el coeficiente de amplificación topográfica (St) y el perfil estratigráfico (S), obteniendo 0.35, 1.2 pendiente entre 15-30° y 1.25 depósitos coluvio-aluviales; obteniendo un $K_h=0.263$ y un $K_v= 0.132$ para la zona. Por último, calculando los factores de Seguridad se obtuvo: en condiciones de tensiones normales los deslizamientos 03, 05, 06, 07 y 08; factor de seguridad mayor a 1.5; deslizamiento 09; factor de seguridad entre 1.3 y 1.5 y el deslizamiento 01, 02 y 04; factor de seguridad entre 1.0 y 1.3; y en condiciones de saturación media y sismicidad máxima todos los deslizamientos presentan un factor de seguridad entre 0.5-1.0. Llegando a la conclusión de que las precipitaciones y la sismicidad son los factores detonantes de los deslizamientos en la zona.

Palabras claves: Geodinámica, deslizamientos, precipitaciones, sismicidad, factor de seguridad.

ABSTRACT

Several mudslides have been recognized around the district of Jesus, in sedimentary rocks of the Farrat Formation, constituted by quartz sandstones and the Carhuáz Formation, formed by intercalation of sandstones and shales, which are very fractured and weathered; So are colluvio-alluvial quaternary deposits, which are affected by rainfall and seismicity, these variables are factors of instability in slopes and slopes, originating geodynamically unstable areas; The main objective of the thesis is to analyze geodynamically the unstable areas around the town of Jesus and for this purpose the type of research that is used is descriptive, analytical and explanatory correlate, non-experimental and transverse in time; The research methods, we have: descriptive, analytical, deductive and explanatory. The methodology consists of three stages, in the final stage we analyzed all the information and the results obtained, which were interpreted, correlated and contrasted with the hypothesis; like what; in the rainfall analysis, the reference date for rainfall (NRP) was the date of March 21, 2015, noting that rainfall increased significantly from 2011 onwards, surpassing in the following years the NRP line in the months From December to April; Seismicity was analyzed with its K_h and K_v , taking into account the seismic zoning, the topographic amplification coefficient (St) and the stratigraphic profile (S), obtaining 0.35, 1.2 slope between $15-30^\circ$ and 1.25 colluvio-alluvial deposits; Obtaining a $K_h = 0.263$ and a $K_v = 0.132$ for the zone. Finally, calculating the Safety factors was obtained: under conditions of normal stress the slides 03, 05, 06, 07 and 08; Security factor greater than 1.5; Slip 09; Safety factor between 1.3 and 1.5 and slip 01, 02 and 04; Safety factor between 1.0 and 1.3; And under conditions of average saturation and maximum seismicity all landslides present a safety factor between 0.5-1.0. Concluding that rainfall and seismicity are the detonating factors of landslides in the area.

Key words: Geodynamics, landslides, precipitation, seismicity, safety factor.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los peligros geológicos han sido estudiados a través del tiempo, cobrando mayor importancia mientras más estragos negativos dejaba tras su ocurrencia; así los deslizamientos son solo uno de los muchos tipos de peligros geológicos; de allí la importancia del estudio de éstos.

En el distrito de Jesús- Cajamarca se han registrado por años deslizamientos que han perjudicado a población de los caseríos y el distrito, e incluso han interrumpido la vía principal que conecta a la provincia de Cajamarca con el distrito de Jesús; estos deslizamientos se hallan ubicados en la Formación Farrat y Carhuáz, las cuáles en las zonas que se puede observar macizo se nota claramente el alto grado de fracturamiento y meteorización; y en depósitos cuaternarios tipo coluvio-aluvial , éstos materiales se ven afectados por precipitaciones pluviales y sismicidad, variables condicionantes de inestabilidad en laderas y taludes, hecho que genera zonas geodinámicamente inestables en el distrito de Jesús.

Así se puede plantear la siguiente pregunta: ¿Las precipitaciones pluviales y los movimientos sísmicos que ocurren sobre las Formaciones Farrat, Carhuáz y depósitos cuaternarios coluvio-aluviales en los alrededores del poblado de Jesús, podrían generar zonas geodinámicamente inestables?, argumentando que la respuesta sería que el comportamiento litológico de la zona que está constituida por intercalación de areniscas y lutitas, fuertemente fracturadas y meteorizadas; y los depósitos cuaternarios que son del tipo coluvio-aluvial, son afectados por las variables detonantes precipitación y sismicidad, creando zonas geodinámicas inestables.

La importancia de saber cuáles son las zonas geodinámicamente inestables radica en los impactos negativos que generaría la ocurrencia de deslizamientos, afectando a la población, infraestructura económica, vial y a riegos, la información que se genere con la presente tesis será de gran importancia para las autoridades nacionales, regionales y locales, y en especial para las organizaciones de defensa civil, lo cual servirá como herramienta de gestión de peligros, vulnerabilidad y riesgos.

El objetivo principal de la tesis es analizar geodinámicamente las zonas inestables en los alrededores del poblado de Jesús y para ello se deberá también; realizar el cartografiado geológico-estructural, analizar las condiciones climáticas con su variable de precipitación, determinar los parámetros sísmicos y determinar las zonas geodinámicamente críticas.

La tesis se ha desarrollado en cinco capítulos como se describe a continuación:

El Capítulo I. Introducción, Contiene el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, alcances de la investigación, limitaciones y objetivos de la investigación.

El Capítulo II. Marco teórico, presenta los antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y la definición de términos básicos.

El Capítulo III. Materiales y Métodos, contiene la ubicación geográfica y política de la zona, accesibilidad, clima, vegetación y materiales

El Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados, presenta la geología estructural, geomorfología, geología local y el estudio geodinámico; este último presenta la clasificación de suelos, el análisis de precipitaciones, sismicidad, para finalmente obtener el factor de seguridad en el software Slide.

El Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones, presenta las conclusiones obtenidas durante toda la investigación y las recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Por último se enumerará las referencias bibliográficas que se tomaron en cuenta durante todo el proceso de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Rodríguez, et al. (2003), realizaron el estudio Mapa de Peligros de la Ciudad de Cajamarca, donde describen la geología local, mecánica de suelos, fenómenos de origen geológico-sísmico, desastres climáticos, fenómenos geológicos-climáticos y la identificación y evaluación de peligros antrópicos con la finalidad de la generación del mapa de peligros de la Ciudad de Cajamarca. En dicho informe también se citó al Reglamento Nacional de Estructuras, donde encontramos definidas tres zonas Sísmicas para nuestro país y en la Zona 3, de más alto riesgo se ubicaba a Cajamarca.

Zavala, y Barrantes,. (2007), realizaron un informe técnico de las Zonas críticas por peligros geológicos y geo hidrológicos en la región Cajamarca, trabajos que permitieron: Identificar, georreferenciar y determinar el grado de peligrosidad de las ocurrencias recientes y antiguas, de procesos de movimientos en masa de los tipos: derrumbes, caídas de rocas, deslizamientos, flujos de, reptaciones y movimientos complejos, así como también de zonas afectadas por procesos de erosión e inundación fluvial, erosión de laderas, procesos de hundimiento o karst u otros peligros geológicos. Así mismo se efectuó la Evaluación de centros poblados y obras de infraestructura vulnerables a los peligros geológicos así como la identificación de zonas críticas o con alto grado de riesgo, incluyendo dentro de estos al distrito de Jesús indicando que; en el Sector entre Marapampa y Jesús (Jesús), se halló erosión de laderas (cárcavas y surcos), que generan derrumbes cara libre y a la vez flujo de detritos de naturaleza excepcional en cinco quebradas o cárcavas principales. Se distingue abanicos de flujos antiguos de gran dimensión; afecta a la erosión intensiva de tierras de pastoreo, caminos de herradura y camino carrozable; por lo cual se necesita reforestar laderas, control de la erosión de cárcavas con bosques de protección en las cabeceras.

El Fondo Perú- Alemania (2007). Realizó un plan de ordenamiento territorial del distrito de Jesús, donde incluyó la descripción de los riesgos ambientales de la siguiente manera: en el Distrito de Jesús los riesgos ambientales tienden a concentrarse al noroeste y sureste, principalmente por derrumbes y los huaycos que son los desastres más comunes, luego continúan en orden de la magnitud las inundaciones; los derrumbes, huaycos y deslizamientos ocurren principalmente en las partes altas y medias, al noroeste y sureste de los tributarios del río Cajamarquino, tal es el caso de los caseríos Chuninguilay, Granero; Morcilla Alta y Llimbe; las inundaciones se dan en los caseríos que están emplazados en la zona de valle como en Cebadín, Huaraclla, entre otros, esto debido a la suave pendiente; el informe adjunto un cuadro con las variables de riesgo ambiental y los lugares a los que podría afectar, dónde enumero como las tres primeras causas de riesgos ambientales a la deforestación, erosión de suelos y zonas de deslizamiento de suelos; sin embargo también incluyó como variables al deterioro de las zonas de recarga hídrica, las inundaciones, el desvío de aguas de ríos caudalosos, la contaminación por residuos sólidos y aguas servidas, contaminación por actividades mineras, colmatación de quebradas y exposición a huaycos. El informe también recomendó un estudio detallado por variable de riesgo.

Zavala (2008). Explicó que los deslizamientos son comunes en vertientes y valles de la cordillera andina, definiendo que: estos procesos geodinámicos pueden perdurar en el tiempo y comportarse aparentemente en forma estable sin embargo indicios de carácter geológico y geomorfológico muestran que estos eventos se encuentran en real movimiento de forma natural a veces imperceptibles. Sin embargo estos suelen ser incentivados o detonados por agentes externos de carácter natural como lluvias y sismos, o acciones del hombre como puede ser por la modificación de taludes, riego inadecuado.

Reyes (1980). Realizó un estudio que corresponde a los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba. Analiza regionalmente el área de estudio, realizando un cartografiado a escala 1:100,000 en base a un estudio litológico, estratigráfico, estructural, geomorfológico en forma general; este trabajo será la base cartográfica obre la cual se trabajará.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Geodinámica

Es una disciplina de las ciencias geológicas; que nos permite comprender como ocurren los fenómenos, cuáles son las causas y factores que los generan, las condiciones en que se desarrollan y, finalmente, sus efectos sobre el globo terrestre. La geodinámica se refiere a todos los movimientos que experimenta la tierra desde sus inicios, tanto aquellos que se originan en su interior (geodinámica interna), como los que se generan por la interacción de la hidrósfera y/o atmósfera sobre la corteza terrestre (geodinámica externa: fenómenos de remoción en masa: deslizamientos, reptación de suelos y/o rocas, derrumbamientos, hundimientos y fenómenos de flujos hídricos. (Medina, 1991)

2.2.2 Deslizamientos

Según Cruden & Varnes. (1996), los deslizamientos consisten en movimientos de masas de roca, residuos o, hacia abajo de un talud; para poder clasificar un deslizamiento es necesario conocer cada una de sus partes y delimitarla de manera correcta, así Suarez, J. (2009) dijo que las partes de un deslizamiento son: cabeza, cima, corona, escarpe principal, escarpe secundario, superficie de falla, pie de la superficie de falla, base, punta o uña, cuerpo principal del deslizamiento, superficie original del terreno y costado o flanco (que puede ser derecho o izquierdo); para describir un deslizamiento con todas sus partes es necesario utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste); pero si se emplean las palabras derecha e izquierda, deben referirse al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie.

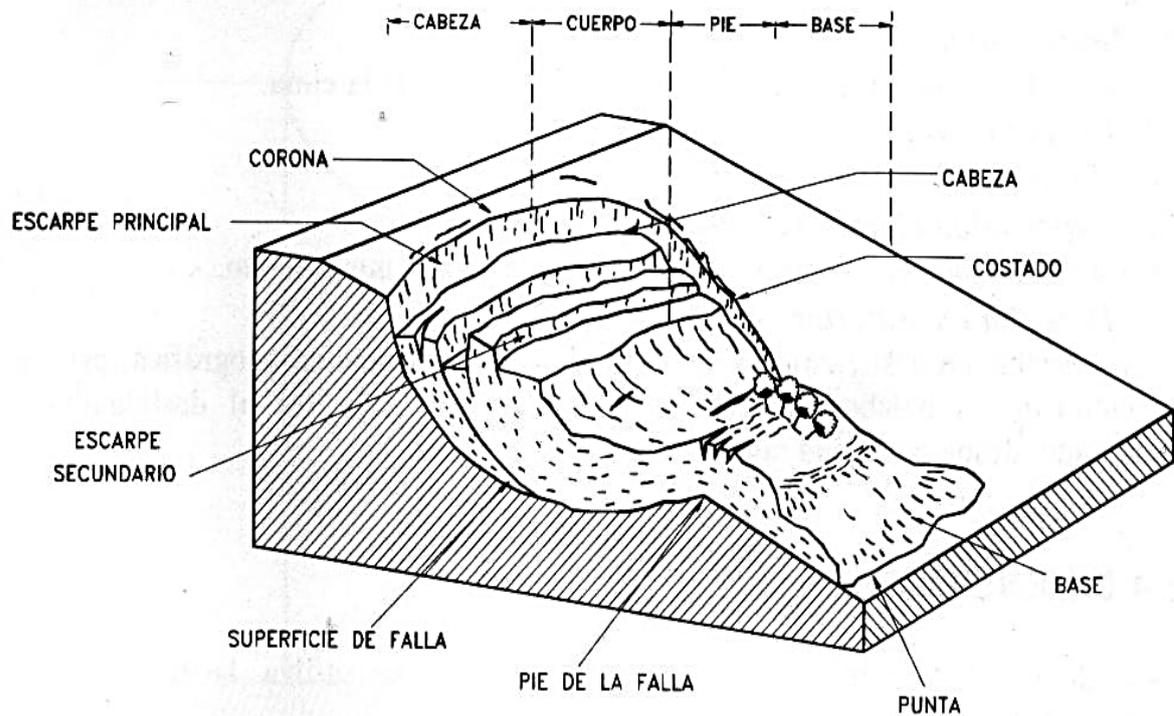


Figura N° 1 : Nomenclatura de las diferentes partes que conforman un deslizamiento.
 (Cruden & Varnes 1996).

Luego de haber visto las partes de un deslizamiento es necesario conocer las dimensiones de los mismos, de tal manera que se pueda reconocer cuales fueron las dimensiones medidas en campo en cada deslizamiento.

Suárez, (2009) en su libro “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, explica en el primer capítulo cada una de las dimensiones de los deslizamientos, siendo ocho en total; el ancho de la masa (W_d), es el ancho máximo de la masa desplazada perpendicular a la longitud de la masa desplazada.; el ancho de la superficie de falla (W_r), es el ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicular a la longitud de la superficie de falla; la longitud de la masa desplazada (L_d), es la distancia mínima entre la punta y la cabeza del deslizamiento; la longitud de la superficie de falla (L_r), es la distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona; la profundidad de la masa desplazada (D_d), es la máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d ; la profundidad de la superficie de falla (D_r), es la máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W_r y L_r ; la longitud total (L); es la distancia mínima desde la punta a la

corona del deslizamiento; y la longitud de la línea central (L_c), es la distancia que hay desde la punta hasta la corona del deslizamiento a lo largo de los puntos ubicados sobre la superficie original y equidistante de los bordes laterales o flancos.

Igualmente, se deben medir alturas del nivel freático, alturas de los escarpes, radios de rotación del movimiento, pendientes de la superficie antes y después de la falla. En los deslizamientos la escala horizontal debe ser igual a la vertical.

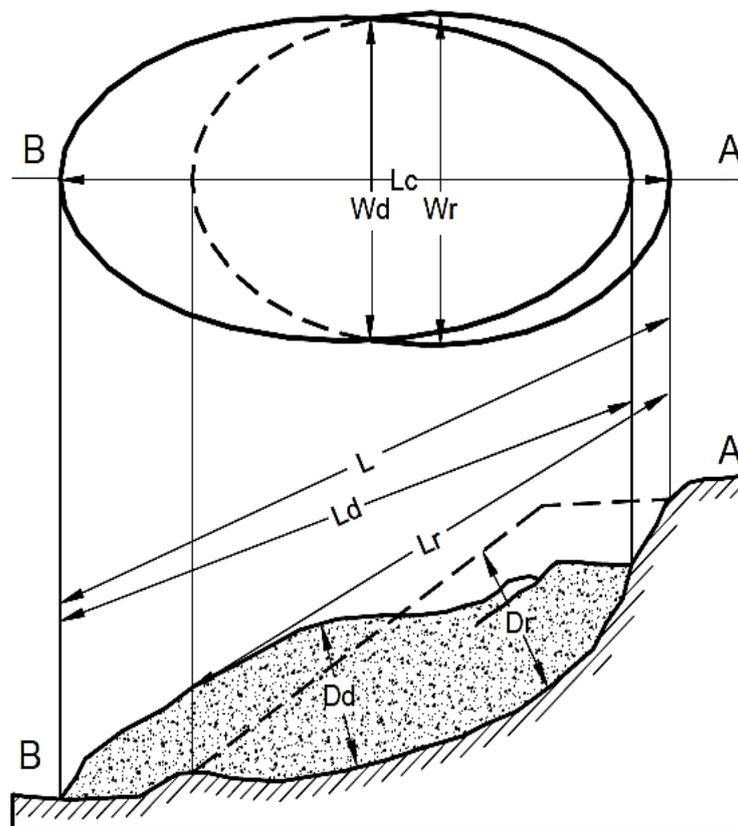


Figura N° 2: Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG Commission on Landslides (1990). (Suarez, 2009)

Juárez, (2009) en su libro usó la clasificación de los movimientos de Varnes; en donde se clasifica los deslizamientos en deslizamientos rotacionales y deslizamientos de traslación.

Deslizamiento rotacional

Skempton & Hutchinson (1969) lo definieron aquellos deslizamientos donde la falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento, visto en planta posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

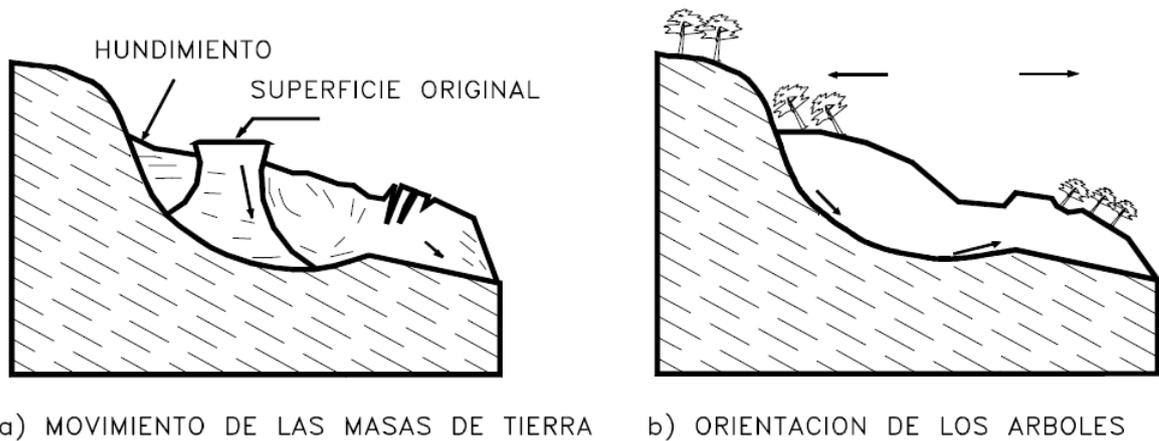


Figura N° 3: Esquema de un deslizamiento rotacional típico. (Skempton & Hutchinson. 1969).

Deslizamiento de traslación

Skempton & Hutchinson (1969) mencionaron que en un deslizamiento de traslación a diferencia de uno de rotación la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo, los movimientos traslacionales tienen generalmente, una relación D_r/L_r de menos de 0.1.

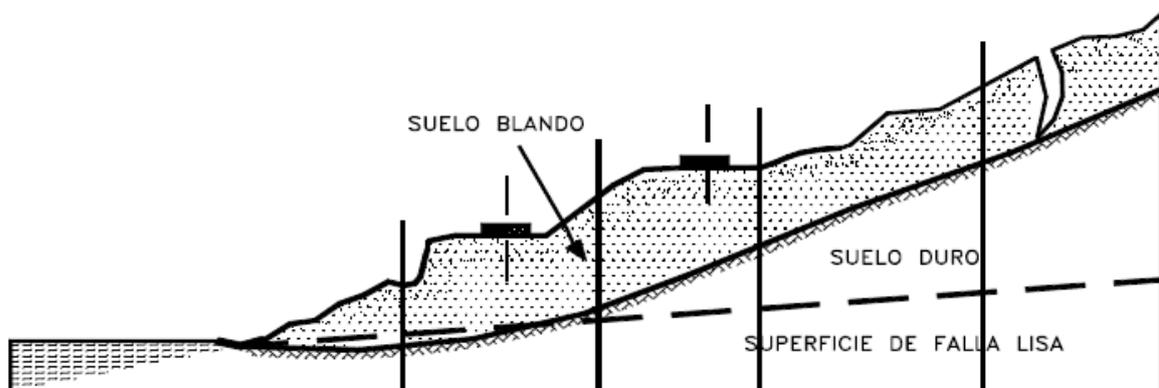


Figura N° 4: Esquema de un deslizamiento del tipo traslación. (Skempton & Hutchinson. 1969).

Para una mejor clasificación de los deslizamientos es necesario conocer también el estado de los deslizamientos. Skempton & Hutchinson. (1969) explicaron ocho estados de los deslizamientos: activo, reactivado, suspendido, inactivo, dormido, abandonado, estabilizado, y relicto.

En campo se puede encontrar los deslizamientos según lo descrito en la teoría, Cruden & Varnes. (1996) establecieron una nomenclatura de actividad de los deslizamientos cuando aparecen conjuntamente varios tipos de deslizamiento, como se indica a continuación:

Complejo

Aquel que tiene al menos dos tipos de movimiento, por ejemplo, inclinación y deslizamiento.

Compuesto

Corresponde al caso en el cual ocurren simultáneamente varios tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.

Múltiple

Un deslizamiento que muestra movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente, ampliando la superficie de falla. Un movimiento sucesivo corresponde a movimientos repetidos pero que no comparten la misma superficie de falla.

Sencillo

Corresponde a un solo tipo de movimiento.

Con el objeto de resumir todo lo antes mencionado y recolectar la información en campo, se utilizó una matriz de recolección de datos para deslizamientos, generado por la tesista.

2.2.3 Mecánica de Suelos

Es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

Los suelos fueron clasificados teniendo en cuenta los protocolos SUCS debido a la complejidad de los materiales y las diferencias de tamaño de las partículas y composición. Por lo cual se han clasificado en cuatro grupos en función a su granulometría.

Tabla N° 1: Clasificación de suelo en función de su granulometría

TIPO	TAMAÑO Φ mm	CARACTERÍSTICAS
Gravas	2 mm – 10 cm	Se caracterizan porque los granos son observables directamente. No retiene agua, por la inactividad de su superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
Arenas	0.060 mm – 2 mm	Aun visibles se observa a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan.
Limos	0.002 mm – 0.060 mm	Retiene el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua – limo y se coloca sobre la mano se ve como el agua se exhuma con facilidad.
Arcillas	Menor a 0.002 mm	Se trata de partículas tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a esos tamaños. Están formadas, principalmente, por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos unidos por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas produciendo, a veces aumentos de volumen.

Fuente: Gonzales de Vallejo, (2004)

2.2.4 Sismicidad

La definición de la palabra “sismicidad” la podemos describir como la actividad sísmica en un área particular durante un cierto periodo de tiempo, o como la cantidad de energía liberada en forma de ondas sísmicas.

La representación de la sismicidad deberá tener en cuenta no solo los eventos registrados, sino también su dimensión, frecuencia, distribución espacial, su modo de ocurrencia y las características del terreno donde se producen o se propagan. (Rodríguez, 2003).

La sismicidad trabaja con valores de los coeficientes sísmicos K_h y K_v , que son el coeficiente de aceleración horizontal y coeficiente de aceleración vertical respectivamente.

2.2.5 Precipitaciones

La precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas. (Villón, 2002)

En deslizamientos, la precipitación es una variable independiente pero detonante; por lo cual es necesario contar con datos de medición de las mismas.

Villón, (2002) en su libro Hidrología expresó sobre la medición de la precipitación:

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua, y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición, se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cuál se recoge el agua producto de la lluvia y otro tipo de precipitación, registrando la altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos.

Pluviómetro

Consiste en un recipiente cilíndrico de lámina, de aproximadamente 20cm de diámetro y de 60cm de alto. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cuál comunica con una probeta de sección diez veces menor que la de la tapa.

Esto permite medir la altura de lluvia en la probeta, con una aproximación hasta décimos de milímetros, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de la lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura, generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

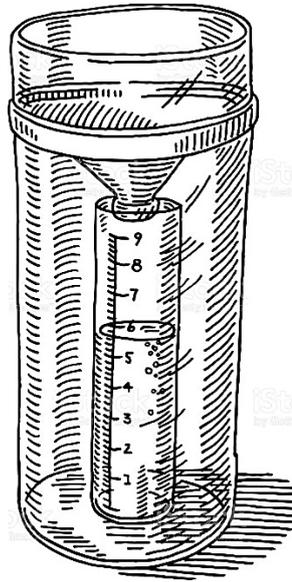


Figura N° 5: Pluviómetro. (Villón, 2002)

Pluviógrafo

Es un instrumento que registra la altura de la lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación.

Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador, montado en un sistema de reloj; como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma.

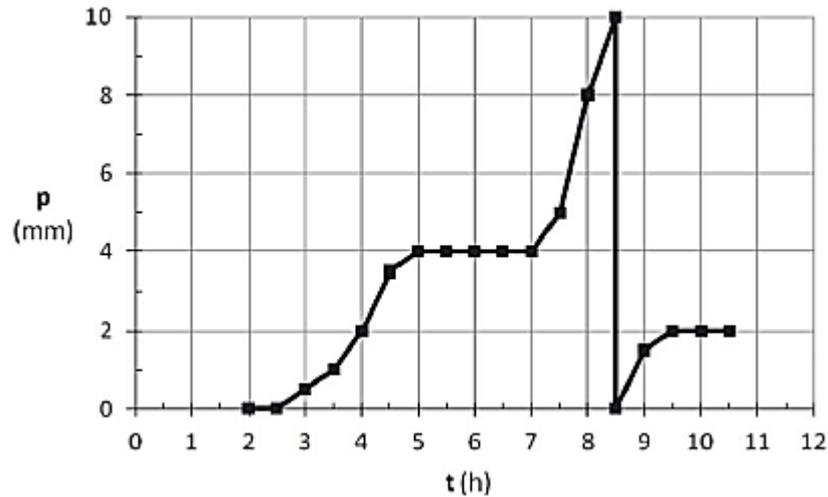


Figura N° 6: Pluviograma de registro que genera un pluviómetro. Fuente: (Villón, 2002)

Las estaciones pluviométricas se encargan de realizar el registro de precipitaciones haciendo uso de pluviómetros y pluviogramas; encontramos en la UNC-Cajamarca la estación metereológica Augusto Weberbauer, que registra desde diciembre de 1972.

Ortiz, (2004) fue citado por Rodríguez, (2016) en su Tesis de Magister en Geología-Mención Geotecnia, titulada “Método de Investigación Geológico-Geotécnico Para el Análisis de Inestabilidad de Laderas Por Deslizamientos Zona Ronquillo – Corisorgona - Cajamarca - Perú” para usar el Factor de Transposición de Datos de Precipitaciones Estación Weberbauer a la Subcuenca Tres Ríos, debido a que la zona no contaba con una estación propia.

Los datos de precipitación recogidos por la Estación Weberbauer corresponden a una altitud de 2,655 msnm (H1), los cuales deben ser transpuestos hacia la zona a estudiar según la Ecuación de Oswald (Ortiz, 2004); cuya altitud media debe ser obtenida.

El procedimiento se inicia con la obtención del Factor de Transposición (Ft) como se muestra en la tabla N° 2 el cual multiplica a cada valor de precipitación de la estación Weberbauer, obteniéndose los nuevos valores de precipitación para la zona de estudio.

La Ecuación de Transposición de las precipitaciones es la siguiente:

$$PP = \frac{H}{H1} * PP1$$

- PP = Precipitación a la Altitud H
- PP1 = Precipitación a la Altitud H1
- H = Altitud Media de la Subcuenca a Trasponer
- H1 = Altitud de la Estación de Origen

Tabla N° 2: Factor de Transposición de Precipitaciones.

CALCULO DEL FACTOR DE TRANSPOSICION DE PRECIPITACIONES
Estación Weberbauer (UNC)- a Zona de estudio
Ecuación de Oswald *

Subcuenca Tres ríos	Precipitación a la altitud H	PP		mm
Estación Weberbauer	Precipitación a la altitud H1	PP1		mm
Subcuenca Tres ríos	Altitud media de la Subcuenca Tres Ríos	H		msnm
Estación Weberbauer	Altitud media de la Estación Weberbauer	H1		msnm

Factor de transposición		H/H1	
-------------------------	--	-------------	--

*Ortiz, (2015)- Investigador UNC en Hidrología y Cuencas.

Fuente: Rodríguez, (2016)

El resultado de los datos de las precipitaciones transpuestas se graficaron mediante Software Excel por años y meses, teniendo en cuenta iniciar con un mes de pocas lluvias (junio año anterior) pasando por los meses lluviosos hasta finalizar con un mes poco lluvioso (mayo del año posterior). Este ordenamiento proporciona curvas que muestran la mejor tendencia de los meses lluviosos hacia el centro de la curva. (Rodríguez, R. 2016)

2.2.6 Método del Equilibrio Límite

Herrera, (2003) en su libro “Introducción a la Estabilidad de Taludes” nombra los métodos de cálculo de la estabilidad de taludes, considerando dos: método del equilibrio límite y métodos de cálculo en deformaciones (métodos numéricos); el método del equilibrio límite se explica de forma clara en el artículo de Estabilidad de Taludes publicado por GeoStru hace algunos años, donde indica que:

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad:

$$F = \tau_f / \tau$$

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.).

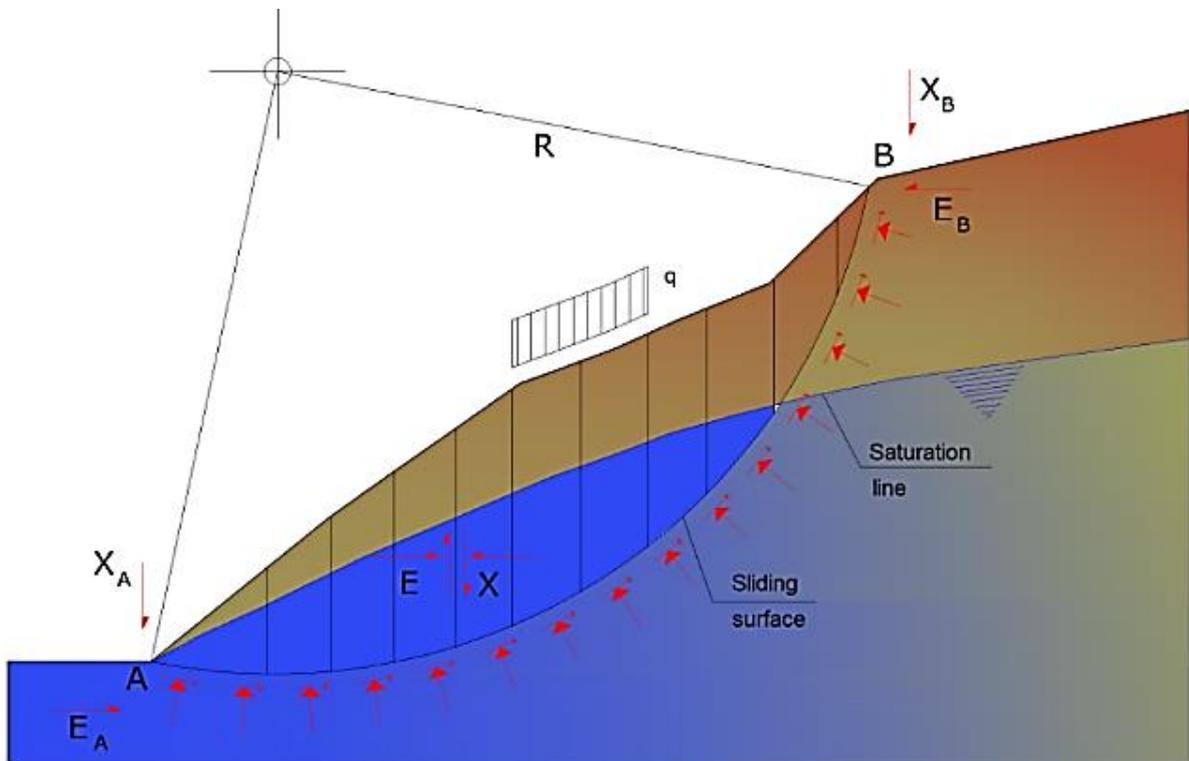


Figura N° 7: Equilibrio Límite - método de las rebanadas para cálculo de la estabilidad. (Herrera, 2003)

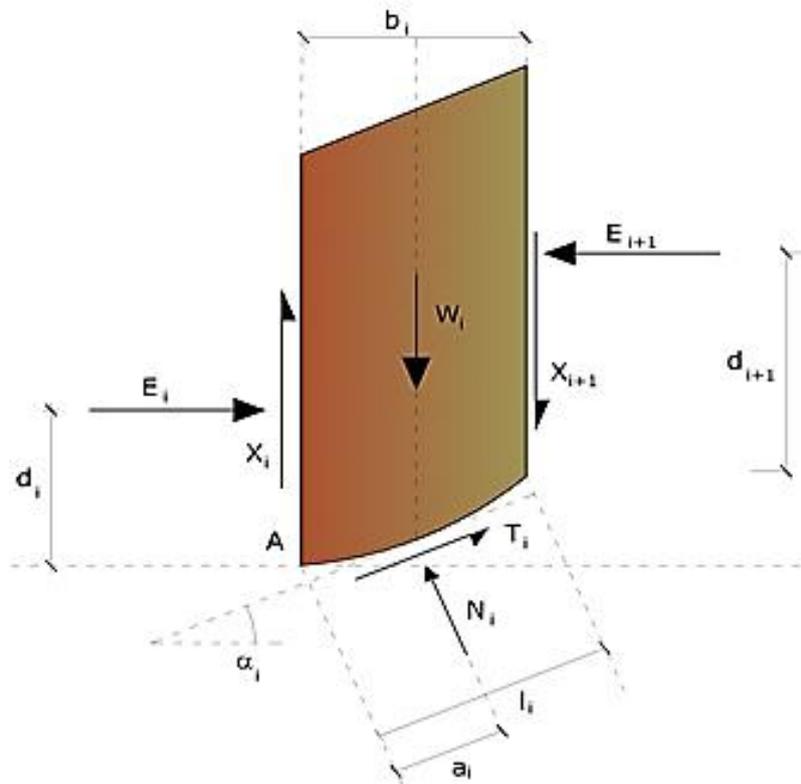


Figura N° 8: Fuerzas que actúan sobre una rebanada- Equilibrio Límite (Herrera, 2003)

Método de las rebanadas

La masa susceptible al deslizamiento se subdivide en un número conveniente de rebanadas.

Si el número de rebanadas es igual a n , el problema presenta las siguientes incógnitas:

1. n valores de las fuerzas normales N_i en la base de cada rebanada;
2. n valores de las fuerzas de corte en la base de la rebanada T_i ;
3. $(n-1)$ fuerzas normales E_i en la conexión de las rebanadas;
4. $(n-1)$ fuerzas tangenciales X_i en la conexión de las rebanadas;
5. n valores de la coordenada del punto de aplicación de las E_i ;
6. $(n-1)$ valores de la coordenada del punto de aplicación de las X_i ;
7. una incógnita constituida por el factor de seguridad F .

En total las incógnitas son $(6n-2)$. Mientras las ecuaciones a disposición son:

- ecuaciones de equilibrio de momentos n ;
- ecuaciones de equilibrio en la traslación vertical n ;

- ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal n ;
- ecuaciones del criterio de rotura n .

Total número de ecuaciones $4n$.

El problema es estáticamente indeterminado y el grado de indeterminación es igual a:

$$I = (6n-2)-4n = 2n-2$$

El grado de indeterminación se reduce a $(n-2)$. Al asumir que N_i se aplica en el punto medio de la franja, esto equivale a crear la hipótesis de que las tensiones normales totales están distribuidas uniformemente. Los diferentes métodos que se basan en la teoría del equilibrio límite se diferencian por el modo en que se eliminan las $(n-2)$ indeterminaciones.

Para efectos prácticos se trabajará con cuatro métodos: Morgenster-Price, Bishop Modificado, Spencer y Sarma, en el mismo artículo antes mencionado se indica:

El Método de Morgenstern Price (1965)

Establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión de tipo $X = \lambda f(x)E$, donde λ es un factor de escala y $f(x)$, es la función de la posición de E y de X , que define una relación entre las variaciones de la fuerza X y de la fuerza E dentro la masa deslizante. La función $f(x)$ se escoge arbitrariamente (constante, senoide, semisenoide, trapecio, fraccionada) e influye poco sobre el resultado, pero se debe verificar que los valores obtenidos de las incógnitas sean físicamente aceptables.

La particularidad del método es que la masa se subdivide en franjas infinitesimales, a las cuales se aplican las ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical y de rotura en la base de las franjas. Se llega a una primera ecuación diferencial que une las fuerzas de conexión incógnitas E , X , el coeficiente de seguridad F_s , el peso de la franja infinitésima dW el resultado de las presiones neutras en la base dU .

Se obtiene la llamada “ecuación de las fuerzas”:

$$c' \cdot (\alpha/F_s) + \tan\phi' \cdot [(dW/dx) - (dX/dx) - \tan\alpha(dE/dx) - \sec\alpha \cdot (dU/dx)] = (dE/dx) - \tan\alpha \cdot [(dX/dx) - (dW/dx)]$$

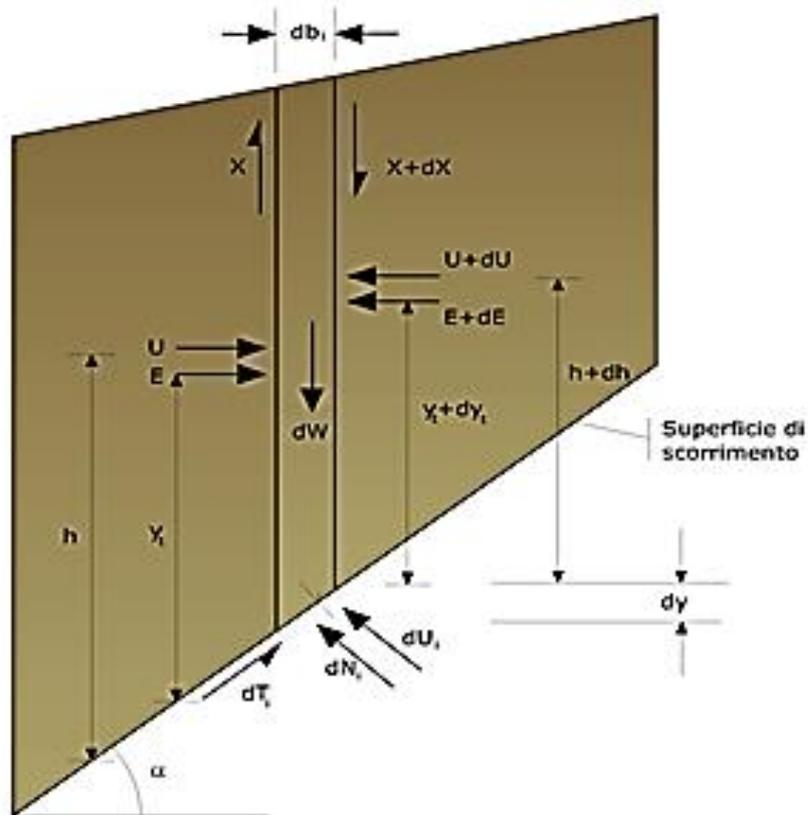
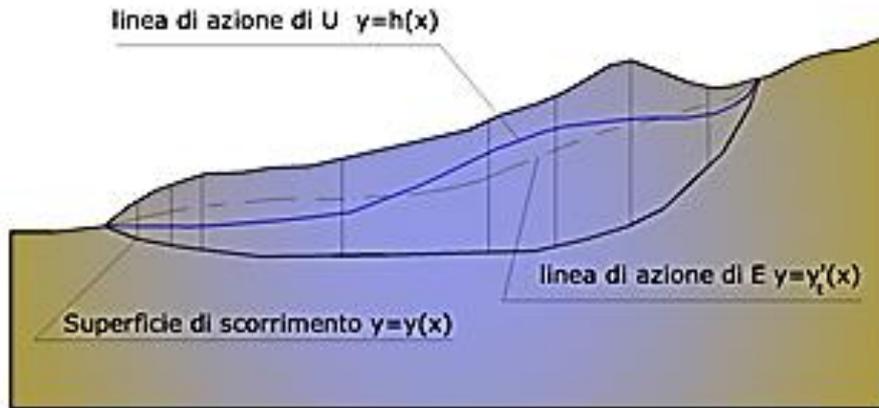


Figura N° 9: Acciones en la i -ésima rebanada según las hipótesis de Mongenster y Price y representación del conjunto. (Herrera, 2003)

Una segunda ecuación, llamada “ecuación de los momentos”, se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base:

$$X=d(E\gamma)/dx-\gamma \cdot dE/dx$$

Estas dos ecuaciones se extienden por integración a toda la masa deslizante. El método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio y se aplica a superficies de cualquier forma, pero implica necesariamente el uso de un ordenador.

Método de Bishop (1955)

Con este método se toman en cuenta todas las fuerzas actuantes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales. Las ecuaciones usadas para resolver el problema son:

$$\Sigma F_y=0 \quad \Sigma M_0=0 \quad \text{Criterio de rotura}$$

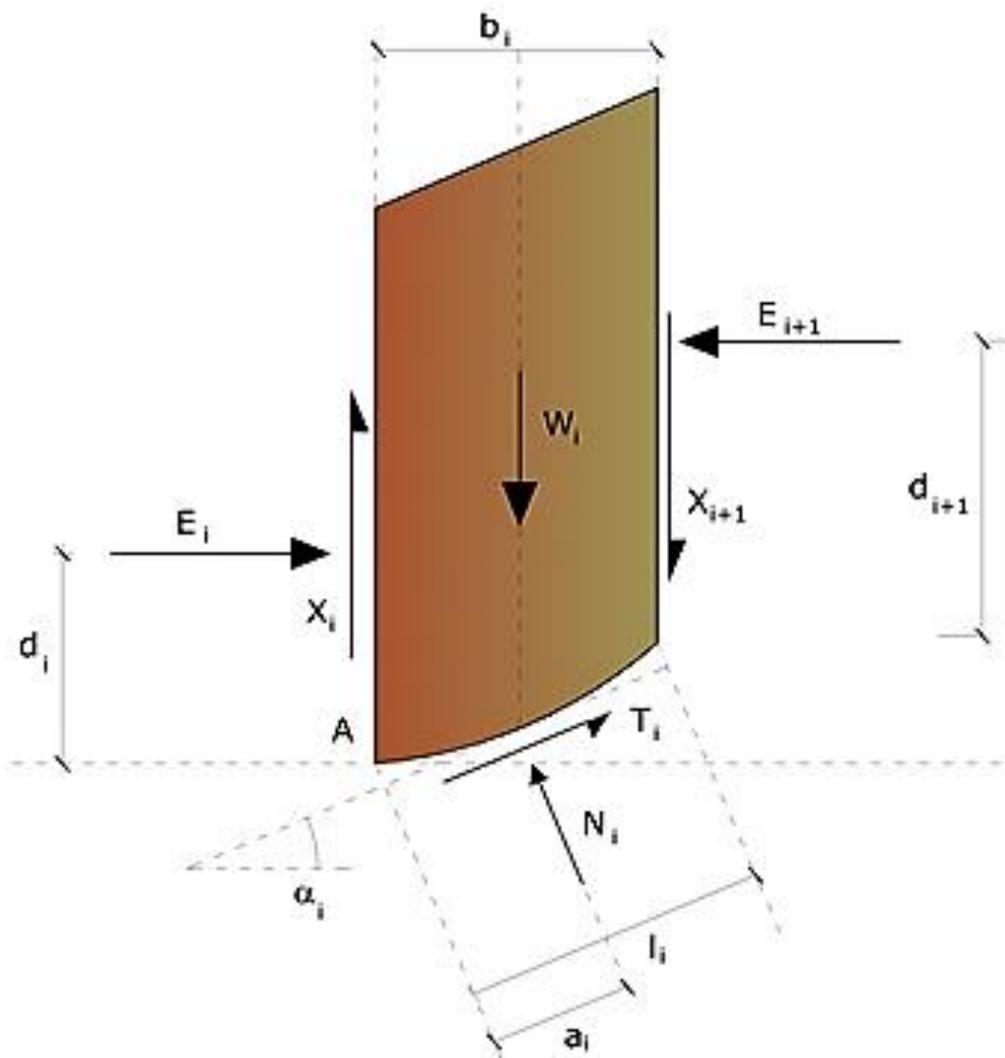


Figura N° 10: Método de Bishop para el cálculo de la estabilidad. (Herrera 2003)

$$F = \frac{\sum_i [c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i + \Delta X_i) \cdot \tan \phi_i] \cdot [\sec \alpha_i / (1 + \tan \alpha_i \cdot \tan \phi_i / F)]}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

Los valores de F y de ΔX que satisfacen esta ecuación dan una solución rigurosa al problema. Como primer aproximación conviene plantear $\Delta X = 0$ e iterar para el cálculo del factor de seguridad. Este procedimiento se conoce como método de Bishop ordinario y los errores con respecto al método completo son de alrededor de un 1 %.

Método de Spencer (1967)

El método se basa en el supuesto de que:

1. Las fuerzas de conexión a lo largo de las superficies de división de cada rebanada están orientadas paralelamente entre sí e inclinadas con respecto a la horizontal de un ángulo θ ;
2. Todos los momentos son nulos $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Básicamente el método satisface todas las ecuaciones de la estática y equivale al método de Morgenstern y Price cuando la función $f(x) = 1$. Imponiendo el equilibrio de momentos respecto al centro del arco descrito por la superficie de deslizamiento se tiene:

$$1) \sum Q_i \cdot R \cdot \cos(\alpha - \theta) = 0$$

Donde:

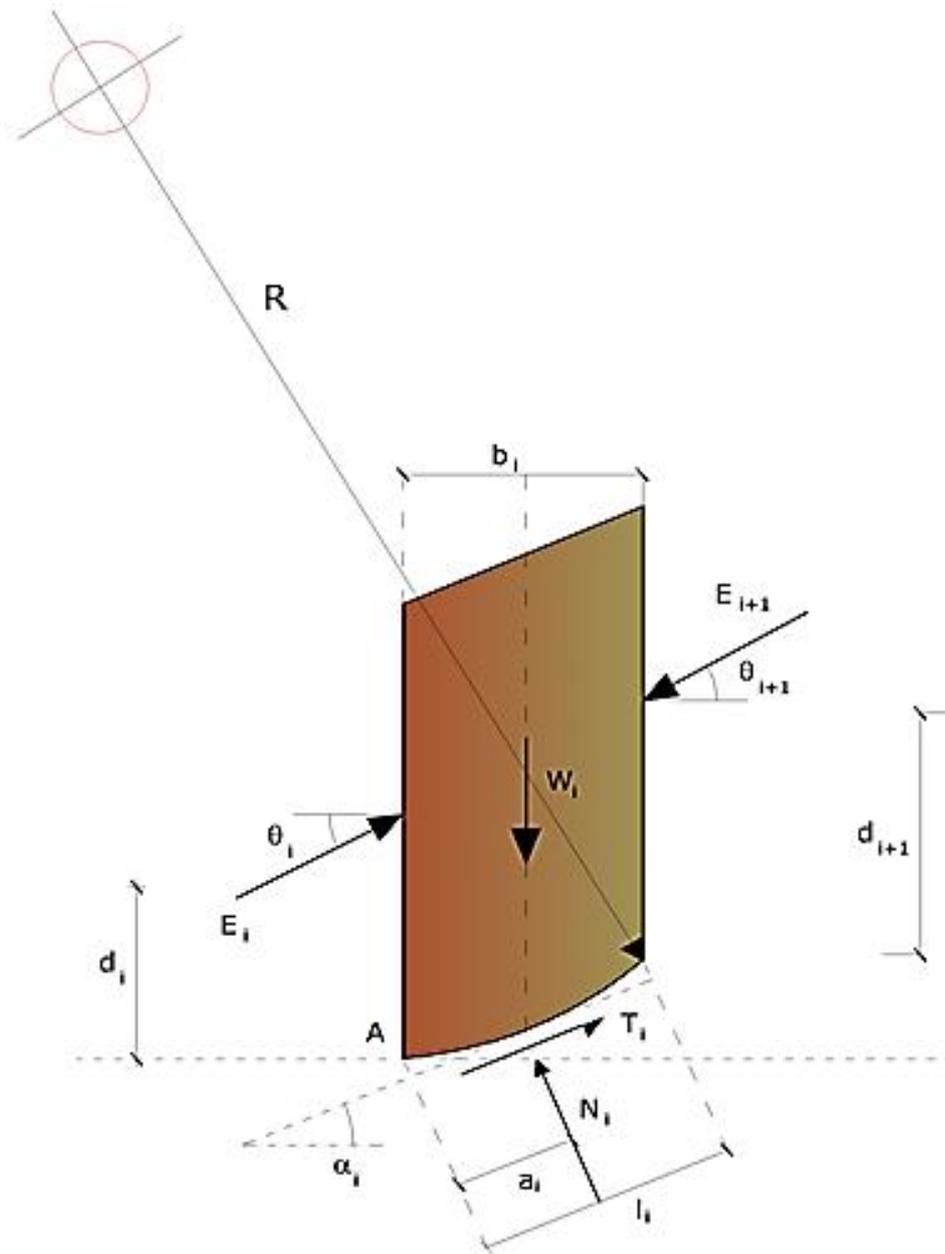


Figura N° 11: Método de Spencer para el cálculo de la estabilidad. (Herrera, 2003)

$$Q_i=0$$

fuerza de interacción entre las rebanadas;

R = radio del arco circular;

θ = ángulo de inclinación de la fuerza Q_i respecto a la horizontal.

Imponiendo el equilibrio de las fuerzas horizontales y verticales se obtiene respectivamente:

$$\Sigma(Q_i \cdot \cos\theta)=0$$

$$\Sigma(Q_i \cdot \sin\theta)=0$$

Asumiendo las fuerzas Q_i paralelas entre sí, se puede también escribir:

$$2) \Sigma Q_i=0$$

$$Q_i = \{c/F_s \cdot (W \cdot \cos\alpha - \gamma_w \cdot h \cdot \sec\alpha) \cdot \tan\alpha / F_s - W \cdot \sin\alpha\} / \{\cos(\alpha-\theta) \cdot [(F_s + \tan\phi \cdot \tan(\alpha-\theta)) / F_s]\}$$

El método propone el cálculo de dos coeficientes de seguridad: el primero (F_{sm}) se obtiene de 1), ligado al equilibrio de momentos; el segundo (F_{sf}) dalla 2) de 2) ligado al equilibrio de fuerzas. En práctica se procede resolviendo la 1) y la 2) para un intervalo dado de valores del ángulo θ , considerando como valor único del coeficiente de seguridad aquel para el cual se obtiene:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Método de Sarma (1973)

El método de Sarma es un simple pero esmerado método para el análisis de estabilidad de taludes que permite determinar la aceleración sísmica horizontal necesaria para que la masa de terreno, delimitada por la superficie de deslizamiento y por el perfil topográfico, alcance el estado de equilibrio límite (aceleración crítica K_c) y, al mismo tiempo, permite obtener el factor de seguridad obtenido como con los otros métodos comunes de la geotecnia.

Se trata de un método basado en el principio del equilibrio límite y de las franjas. Por lo tanto se considera el equilibrio de una masa potencial de terreno en deslizamiento subdividida en n franjas verticales de espesor suficientemente pequeño como para asumir que el esfuerzo normal N_i obra en el punto medio de la base de la franja.

Las ecuaciones a considerar son:

- La ecuación de equilibrio en la traslación horizontal de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio en la traslación vertical de cada rebanada;
- La ecuación de equilibrio de momentos.

Condiciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical:

$$N_i \cdot \cos\alpha_i + T_i \cdot \sin\alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cdot \cos\alpha_i - N_i \cdot \sin\alpha_i = K W_i - \Delta E_i$$

Además se asume que en ausencia de fuerzas externas en la superficie libre se tiene:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

Donde E_i y X_i representan, respectivamente, las fuerzas horizontales y verticales en la i -ésima cara de la rebanada genérica i . La ecuación de equilibrio de momentos se escribe seleccionando como punto de referencia el baricentro del cúmulo; de manera que, después de haber efectuado una serie de posiciones y transformaciones trigonométricas y algebraicas, en el método de Sarma la solución del problema se obtiene resolviendo dos ecuaciones:

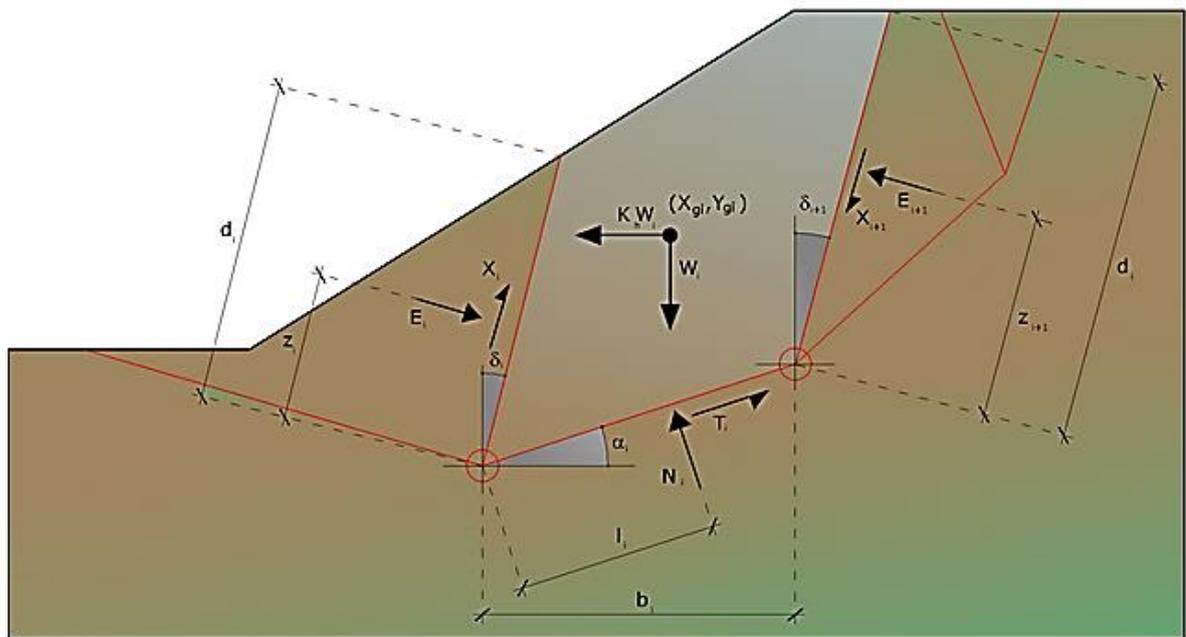


Figura N° 12: Acciones en la i -ésima rebanada, método de Sarma. (Herrera 2003)

Acciones en la i -ésima rebanada, método de Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \tan(\psi_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \tan(\psi_i - \alpha_i) + (x_{mi} - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Pero el enfoque de solución, en este caso, está completamente invertido:

El problema en efecto requiere encontrar un valor de **K** (aceleración sísmica) correspondiente a un determinado factor de seguridad; y en particular, encontrar el valor de la aceleración **K** correspondiente al factor de seguridad $F = 1$, o sea la aceleración crítica.

Se tiene por lo tanto:

$K=K_c$ Aceleración crítica si $F=1$

$F=F_s$ Factor de seguridad en condiciones estáticas si $K=0$

La segunda parte del problema del Método de Sarma es encontrar una distribución de fuerzas internas X_i y E_i tal que permita verificar el equilibrio de la rebanada y el equilibrio global del macizo, sin violar el criterio de rotura.

Se ha encontrado que una solución aceptable al problema se puede obtener asumiendo la siguiente distribución de las fuerzas X_i :

$$\Sigma \Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

Donde Q_i es una función conocida, donde se toman en cuenta los parámetros geotécnicos promedio en la i -ésima cara de la rebanada i , y λ representa una incógnita. La solución completa del problema se obtiene por lo tanto, después de algunas iteraciones, con los valores de K_c , λ y F , que permiten obtener también la distribución de las fuerzas entre las franjas.

Tabla N° 3: Ecuaciones de equilibrio satisfechas por los métodos de equilibrio límite a utilizar en los cálculos.

MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE	EQUILIBRIO VERTICAL DE FUERZAS	EQUILIBRIO HORIZONTAL DE FUERZAS	EQUILIBRIO DE FUERZAS	EQUILIBRIO DE MOMENTOS
Morgenster- Price (1965)	Si	Si	Si	Si
Bishop Modificado (1955)	Si	No	No	Si
Spencer (1967)	Si	Si	Si	Si
Sarma (1973)	Si	Si	Si	Si

2.2.7 Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El MDE se define como una superficie raster casi continua que ofrece información acerca de la coordenada “z” (altitud) en cualquier punto de esa superficie (Burrough, 1992).

A partir de este MDE se obtienen las características morfológicas y morfométricas del terreno (pendiente, exposición, iluminación, curvatura, etc). El MDE se obtiene de los datos topográficos de las curvas de nivel y puntos críticos digitalizados. A partir de estos datos se crea un TIN (Red de triángulos irregulares), mediante el módulo 3D Analyst incorporado en el paquete ArcGIS 9.0. Ese mismo módulo convierte el TIN a “raster” y se consigue el MDE.

A partir de módulo de Spatial Analyst, del paquete ArcGIS 9.0 se obtienen los mapas de altitud, pendiente, orientación, etc.

Altitud

La altitud no es el factor determinante más empleado, pero sí de uso común en trabajos en zonas montañosas con fuertes desniveles (Fernández, 2001).

Pendiente

La pendiente es el gradiente de inclinación de la línea de máxima pendiente tangente al terreno en un punto respecto a la horizontal. Se suele expresar en porcentaje, y en grados sexagesimales.

Orientación

La orientación u exposición es el ángulo que forma la línea de máxima pendiente de un elemento de la superficie del terreno con respecto al Norte geográfico, medido en sentido de las agujas del reloj.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Geodinámica, parte de la geología física o geomorfología que estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa), (Dávila, 2011).

Zonas críticas, delimitación espacial que hace referencia del estado actual respecto a variables físicas y temporales. (Dávila, 2011).

Deslizamiento, es un movimiento pendiente abajo de una masa de tierra o roca que se produce en superficies de rotura o en zonas relativamente delgadas de intensa deformación de corte. (Bobrowsky, 2008)

Factor de Seguridad (FS), es el valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles. (Universidad Politécnica de Cataluña-Barcelona, 2003)

Precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas. (Villón, 2002)

Geoestructuras, son las estructuras geológicas presentes en la corteza terrestre, ya sea de todo el planeta o de una determinada región, presentan características geométricas distintivas y otros rasgos característicos de los que sobresalen: la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación, el tipo de material, su distribución geográfica, etc. (Revista Codelco-2005)

Modelo Digital del Terreno (MDT), es una representación estadística de la superficie continua del terreno mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas (x, y, z) conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario. (Miller y Laflamme, 1958)

Modelo Digital de Elevaciones (MDE), es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. (Miller y Laflamme, 1958)

Estación Meteorológica, es un lugar escogido adecuadamente para colocar los diferentes instrumentos que permiten medir las distintas variables que afectan al estado de la atmósfera; lugar que nos permite la observación de los fenómenos atmosféricos y donde hay aparatos que miden las variables atmosféricas. Muchos de estos han de estar al aire libre, pero otros, aunque también han de estar al aire libre, deben estar protegidos de las radiaciones solares para que estas no les alteren los datos, el aire debe circular por dicho interior. Los que han de estar protegidos de las inclemencias del tiempo, se encuentran dentro de una garita meteorológica. (Juarez, 2007)

Factor de Transposición, es un factor de corrección que representa el cambio en el arrastre con el levantamiento de un ala tridimensional o un avión, en comparación con un ala ideal que tiene la misma relación de aspecto y una distribución elevación elíptica. (Villón, 2002)

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Políticamente la zona se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Jesús.. (Ver anexo: P-01 Plano de Ubicación)

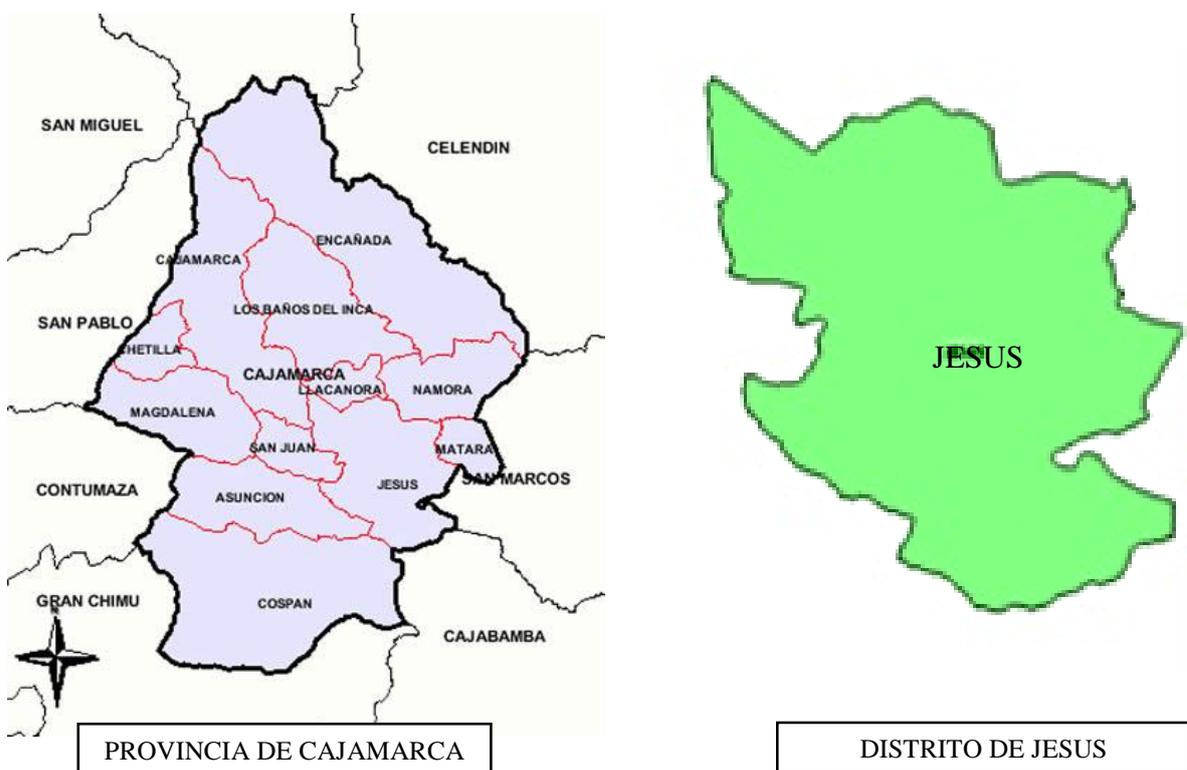


Figura N° 13: Ubicación del Distrito de Jesús en la Provincia de Cajamarca. (Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Jesús, 2003)

Geográficamente la zona se encuentra ubicada en los alrededores del distrito de Jesús, según el sistema UTM. Presenta los siguientes puntos.

Tabla N° 4: Coordenadas UTM. de los vértices de la zona.

VERTICE	COORDENADAS UTM-WGS84 DE LOS VERTICES DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN	
	ESTE	NORTE
A	791000	9199500
B	791000	9196500
C	785500	9196500
D	785500	9199500

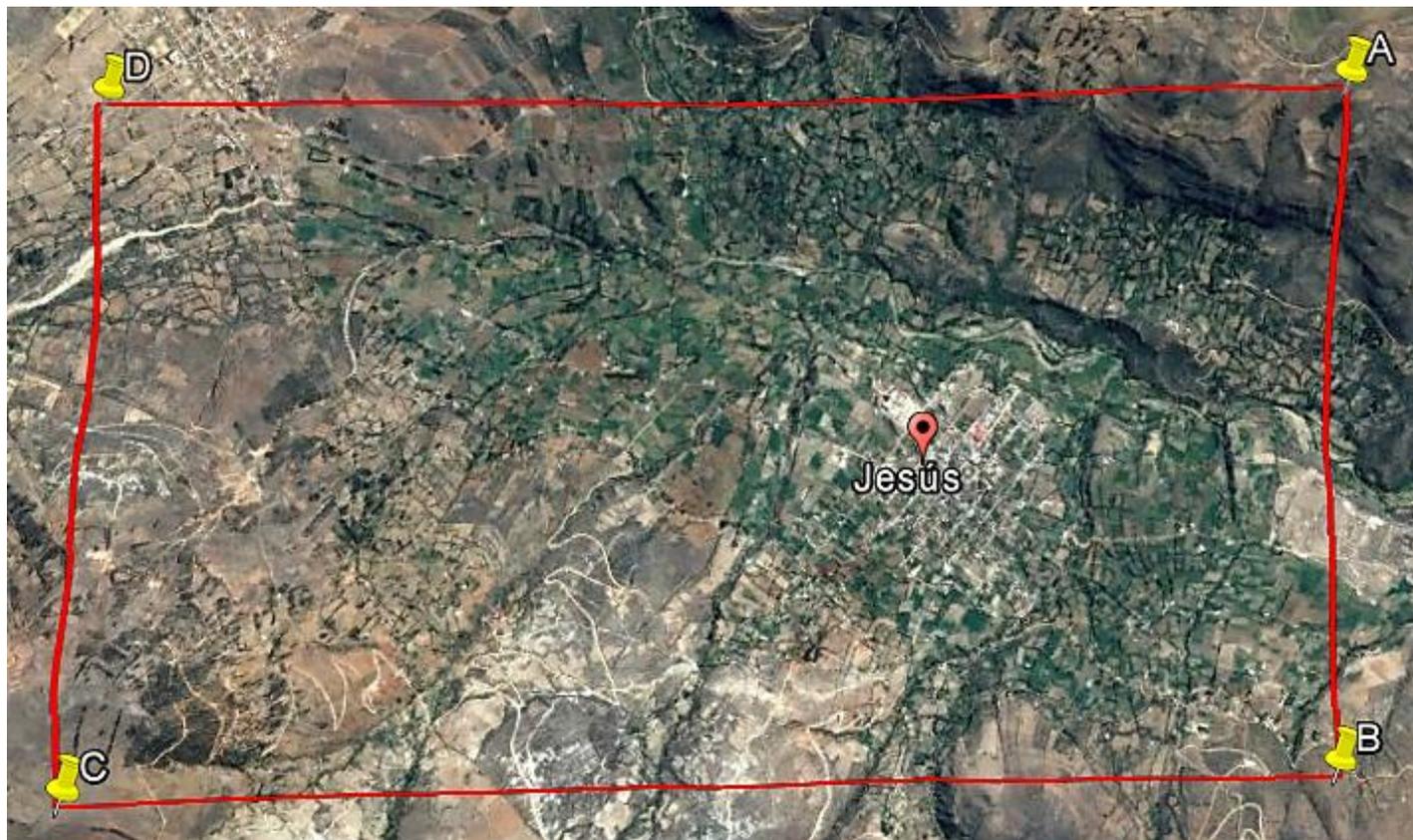


Figura N° 14: Imagen satelital de la zona de estudio. (Google Earth 2017)

3.2 ACCESIBILIDAD

El distrito de Jesús tiene un acceso principal, la carretera que va desde el distrito de Cajamarca hacia el distrito de Jesús de 14.5 Km en un tiempo de 45 minutos.; esta no se encuentra asfaltada solo hasta cierto tramo.

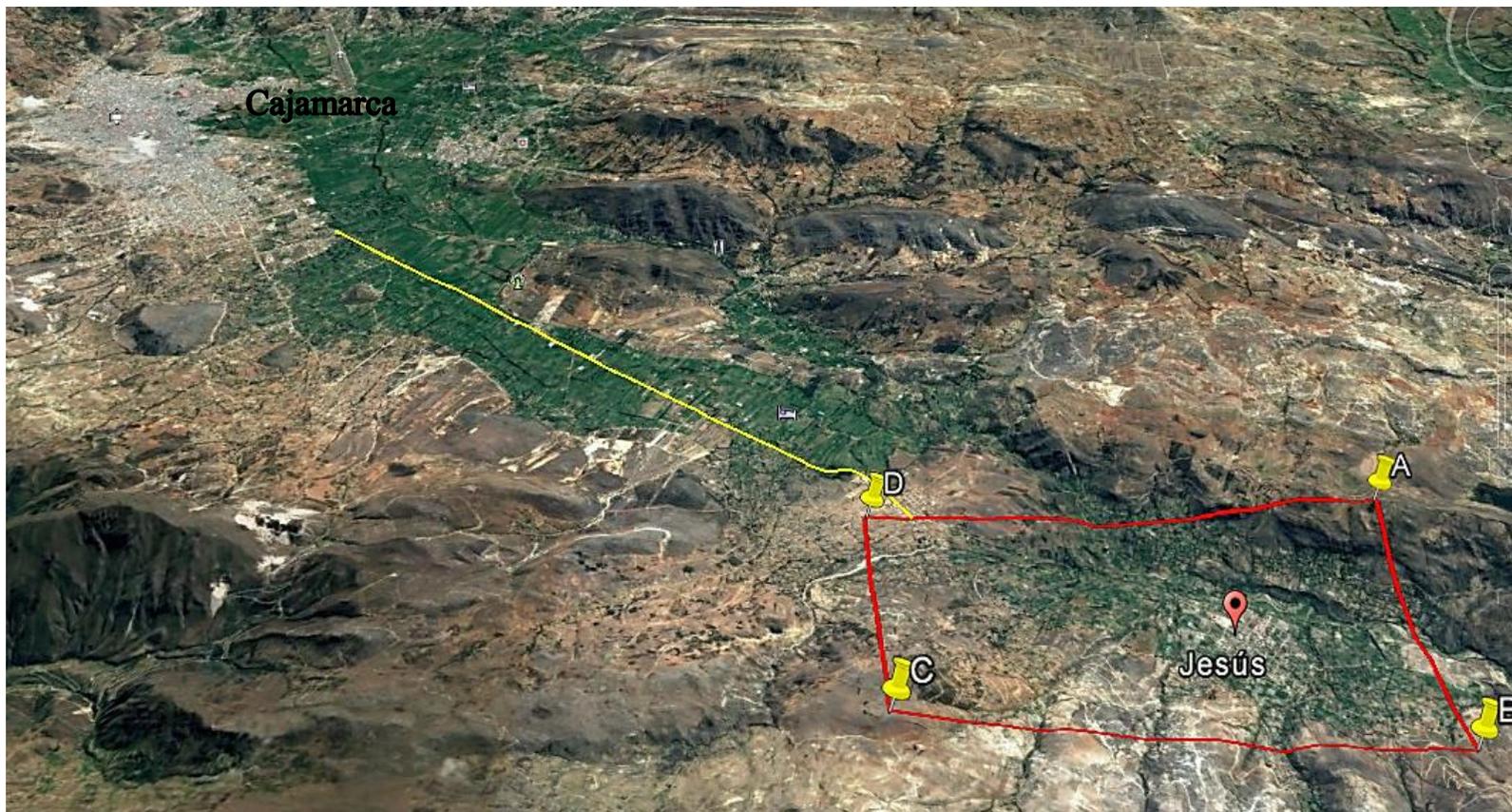


Figura N° 15: Imagen satelital de la accesibilidad a la zona, en color amarillo se observa el acceso principal desde el distrito de Cajamarca hasta el distrito de Jesús.

(Google Earth 2017)

3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

El distrito de Jesús presenta un clima variado y está determinado por su relieve que oscila entre los 2,350 m.s.n.m. hasta los 4,150m.s.n.m. Encontrándose tres regiones naturales bien marcadas: región Quechua, región Suni y región Jalca.

La temperatura varía conforme al factor altitudinal, de una temperatura semi cálida en el valle hasta una temperatura fría en la parte más alta: La temperatura máxima mensual en el distrito de Jesús es de 20°C y la mínima de 5.1°C, la temperatura promedio muestra que los meses más fríos están entre mayo-agosto y los más cálidos entre septiembre –abril. (Senamhi, 2016)

Así encontramos plantas de eucalipto, capulí, aguaymanto, maíz (Región Quechua); sauco (región Suni) e Ichu. En cultivos comprende: maíz papa, oca, quinua y verduras.

3.4. PROCEDIMIENTOS

3.4.1. Definición de variables

Tabla N° 5: Definición de variables

Variables independientes	Variables dependientes
-Precipitaciones -Sismicidad	Deslizamiento

3.4.2. Tipo y Método de la Investigación

El tipo de investigación, es descriptiva, correlacional y explicativa, no experimental y transversal en el tiempo. En cuanto a los métodos de la investigación que se han utilizado son: descriptiva, analítica, deductiva y explicativa.

3.4.3. Población de estudio

Alrededores del poblado del distrito de Jesús.

3.4.4. Muestra

Nueve zonas geodinámicamente críticas.

3.4.5. Unidad de análisis

Deslizamientos.

3.4.6. Técnicas

Las técnicas empleadas para la recopilación de la información fueron:

- Observación Dirigida.
- Análisis Documental.

3.4.7. Instrumentos y Equipos

Instrumentos de recolección de datos

- Cámara fotográfica digital de 8MP; usada para la toma de fotos de las geoformas, estructuras, litología y deslizamientos en la zona.
- Picota geológica, lápiz de dureza, protactor; usados para obtener muestras de la litología, clasificar dureza y ubicar espacialmente la geología local, así como los deslizamientos en los planos.
- Escalímetro; como una herramienta de ayuda para mapear en campo a escala.
- Mapas Geológico, topográfico y satelital; para ubicarnos espacialmente y como bases para mapear en campo.
- Flexómetro de 30m; usado en las mediciones de las dimensiones de los deslizamientos.
- Lapiceros y lápices, bolsas de muestreo; como herramientas de ayuda para mapear, realizar anotaciones y recolectar muestras representativas de la zona de estudio respectivamente.
- Matriz de recolección de datos para deslizamientos; usada en la recolección de información de la ubicación espacial, las dimensiones, tipo y material y causas de los deslizamientos.

Tabla N° 6: Matriz de recolección de datos de deslizamientos.

DESGLIZAMIENTO							
Código		Coordenada Norte		Coordenada Este		Cota	
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa deslizada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional	Deslizamiento traslacional			Roca	Detritos	Suelo	Depósito
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias				Activo		
	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)				Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta			
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo							
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	

Instrumentos de procesamiento de Datos

- Software GIS. 10.3
- Software AutoCAD. 2016
- Microsoft Office 2013.
- Loadcap
- Slide v7
- RocData v5

Equipos

- Brújula Brunton.
- GPS Navegatorio Garmin Mal 60 Cx.
- Laptop HP, RAM 8GB.

3.4.8. Etapas de Generación de la Tesis

Etapa preliminar de Gabinete

Consistió en la búsqueda de libros, estudios, investigaciones, tesis y papers relacionados con el tema, deslizamientos, de esta manera se consolidó la información necesaria para realizar el estudio en campo (matriz de recolección de datos de deslizamientos). En esta etapa también se realizó la base cartográfica, la cual nos orientó y sobre la cual se mapeo, y tomo datos

Etapa de Campo

La segunda etapa comprendió el uso de la matriz de recolección de datos para deslizamientos, planos, entre otros. Se realizó un primer reconocimiento de campo, luego se recorrió la zona de forma que se realizó una descripción geológica, geomorfológica, estructural y de cada deslizamiento ayudados de las estaciones geodinámicas

Etapa Final de Gabinete

En esta etapa obtenida toda la data tomada en campo, se procedió a analizar la información, se elaboraron cuadros de precipitaciones y se definió los coeficientes de sismicidad a usar, se correlacionó las variables independientes con la dependiente, proporcionando la consistencia de la información para luego someterlos a análisis de softwares como el Slide (método de Morgenstren Price y Bishop), Arcgis (Plano de ubicación, geológico, MDE, pendientes y geodinámico), AutoCAD (perfiles geológicos) y Leapfrog (coeficientes de sismicidad); que nos proporcionaran todos los resultados que deberán ser interpretados, correlacionados, contrastados con la hipótesis y elaboración del informe final de tesis.

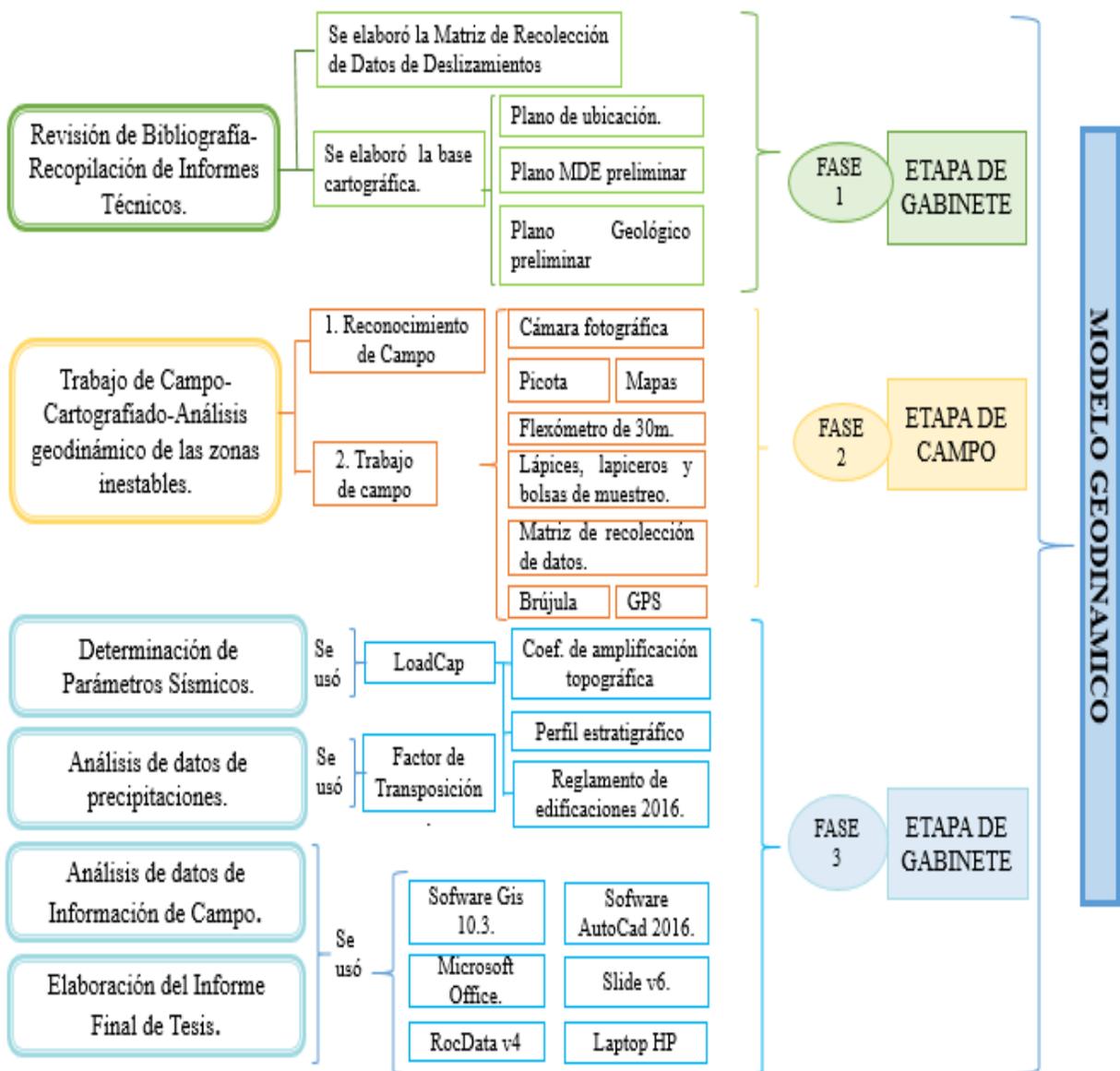


Figura N° 16: Etapas para la elaboración de la tesis, elaborando el modelo geodinámico.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1.1 Estructuras Afines o continuas

Plegamientos

Encontramos en la zona pequeños plegamientos, localizados en zonas pequeñas y específicas. Como lo observado en la siguiente figura.

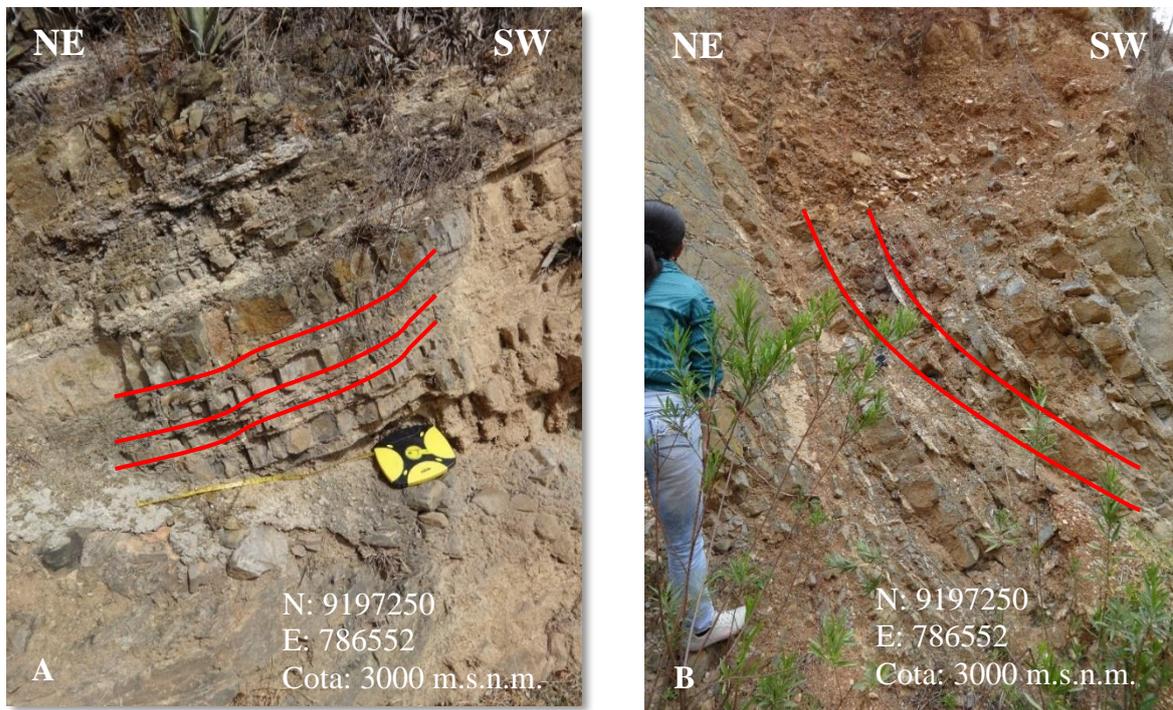


Foto N° 1: A. Plegamiento hallado en la Formación Farrat (NW-SE), producto de esfuerzos compresivos. B. Plegamiento en la Formación Farrat con dirección NE-SW.

En la zona observamos rocas sedimentarias de la Formación Farrat, a pesar de que la zona sea extensa pues presenta una extensión de 5.5km por 3km; regionalmente no se observan pliegues lo cual nos indica que podría haber una falla de gran extensión , hecho que no se sustenta con imágenes por no haber encontrado más indicios de ella que la enorme extensión de la Formación Farrat, además la zona se halla cubierta por depósitos coluvio-aluviales sobre los cuales no existe terminología para ser representada.

4.1.2 Estructuras Discontinuas o Afines

Fallas

Ubicada en la Formación Farrat con una Dirección N 187°, Dip 72° y Dip Direction 264°. En el plano de falla se encontró material fino arcilloso altamente plástico (milonita) , producto de la pulverización por fricción de las rocas que se desplazaron en un plano común. La falla es del tipo inversa y se presenta en la Formación Farrat. Debido a la baja resistencia a la meteorización de los materiales que constituyen esta Formación, algunos elementos de la falla como los Slickenside no se pueden observar.

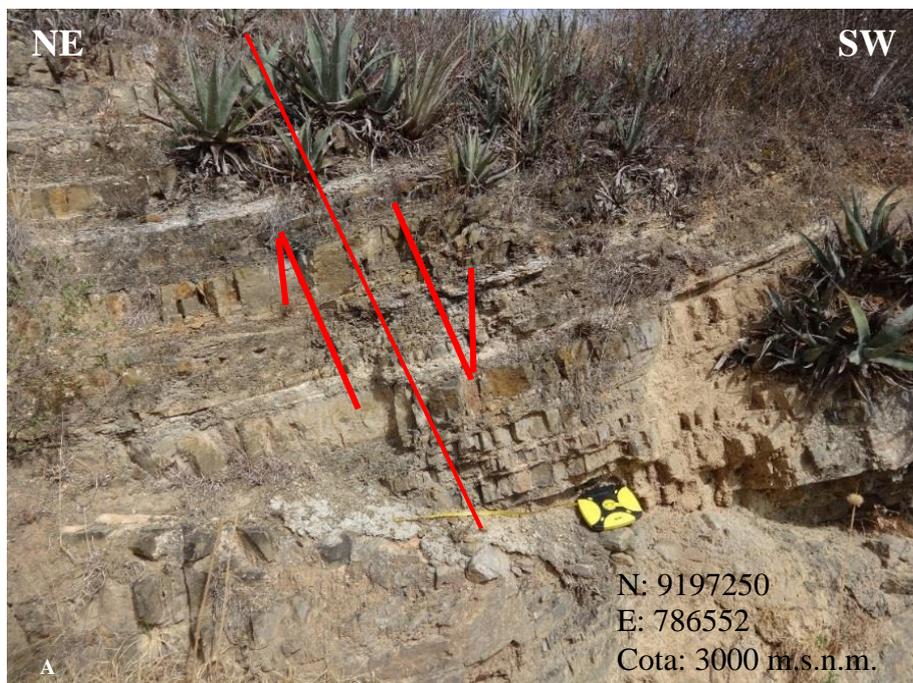


Foto N° 2: A. Falla con dirección N 187°, Dip 72° y Dip Direction 264, afloramiento en la Formación Farrat, en la estación N°5, deslizamiento 08 y 09.

Fracturas

En la zona de investigación se pudo determinar 2 tipos de fracturas, sin mencionar las que se encuentran ocultas dentro de la roca, siguiendo planos de debilidad y que se solo se aprecian cuando se fractura la roca.

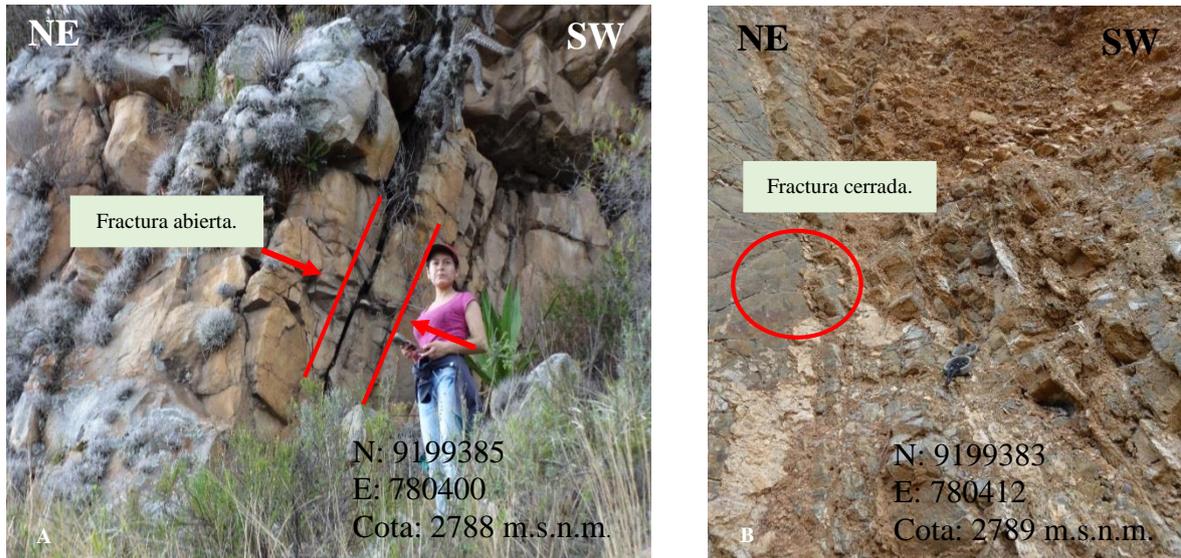


Foto N° 3: A. Fracturas del tipo abiertas y cerradas en la Formación Farrat, afloramientos en la estación N° 4, deslizamiento 07. B. Fracturas localizadas.

4.2. GEOMORFOLOGÍA

Para realizar la clasificación de la geomorfología se consideró los parámetros de altura máxima y mínima, que van desde 2,350 msnm hasta una cota máxima de 4,150 msnm, se empleó la clasificación de pendientes tomando como base la tabla que se presenta a continuación. (Ver anexo: P-04 Unidades Morfogenéticas y P-05 Plano geomorfológico).

Tabla N° 7: Unidades Morfogénicas

UNIDADES MORFOGENÉTICAS	
Pendientes	Descripción
0° - 8°	Planicies
8° - 20°	Lomadas
20° - 50°	Laderas
> 50°	Escarpas

Fuente: Rodríguez, (2016)

4.2.1. Planicies

Primera unidad de clasificación morfogenética, comprende pendientes entre 0° y 8°. planicie es un campo o terreno más o menos homogéneo, y aunque los hay del tipo erosionales y desposicionales, en los alrededores del distrito de Jesús encontramos mayor porcentaje de planicies del tipo desposicionales, constituidos por depósitos cuaternarios del tipo coluvio-aluviales. En la zona las planicies abundan en los bordes del poblado de Jesús, del río Cajamarca y en la parte SE.



Foto N° 4: Planicies según la clasificación morfogenética y terraza de primer como geoforma.

4.2.2. Lomadas

Son elevaciones que no deben sobrepasar los 150 a 200 metros, con geoformas de tendencia cómica, pequeñas elevaciones homogéneas y pendientes suaves.

Unidad morfogenética que presenta una pendiente entre 8° a 20°, estas normalmente son de forma redondeada; y son en la zona, aprovechadas en agricultura y pastoreo. En la zona se

halla ubicado en su mayoría en depósitos coluvio-aluviales y en la Formación Farrat al SW de la zona.



Foto N° 5: Lomada presente al NE del distrito de Jesús.

5.2.3. Laderas

Las laderas en los alrededores del distrito de Jesús, representan un alto porcentaje de área en la zona, éstas presentan una pendiente comprendida entre 20° a 50° , y podemos definir las como zona del declive de una montaña, de un monte o de una zona alta en general y se halla en un intervalo entre 200 a 300 metros.



Foto N° 6: Ladera al SW del distrito de Jesús.

4.2.4. Escarpas

Las escarpas, de modo general, se refieren a cualquier tipo de salto que interrumpe la continuidad de un paisaje. Consideradas en un intervalo de 50° a 90°, Dávila (2011) lo define como un fuerte desnivel en los terrenos que delimita a dos superficies más o menos planas, también en diversos libros se dice que las escarpas son zonas que presentan elevadas pendientes, con tendencia a una mayor inestabilidad y las rocas producirán volteo y derrumbes si son alteradas en su geoambiente natural. Tomando en cuenta las definiciones antes dadas podremos afirmar que en la zona de estudio son en porcentaje escasas las escarpas, y los que encontramos se ubican en la Formación Farrat.



Foto N° 7: Escarpas en la Formación Farrat en dirección SW del distrito de Jesús, afloramiento cercano a la estación N°4, deslizamiento 07.

4.3. GEOLOGÍA LOCAL

En los alrededores del distrito de Jesús, en la zona de trabajo solo aflora la Formación Farrat, y los depósitos cuaternarios del holoceno son los que cubren mayor área de la zona de estudio. (Ver anexo 2: P-06 Plano Geológico).

4.3.1. Grupo Goyllarisquizga

Formación Farrat

Representando el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior, consta en la zona de areniscas cuarzosas y areniscas blancas de grano medio a grueso, se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje bien marcadas. Esta Formación en la zona presenta poca extensión debido a que gran parte se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios. El rumbo de los estratos se encuentra en dirección NW – SE.

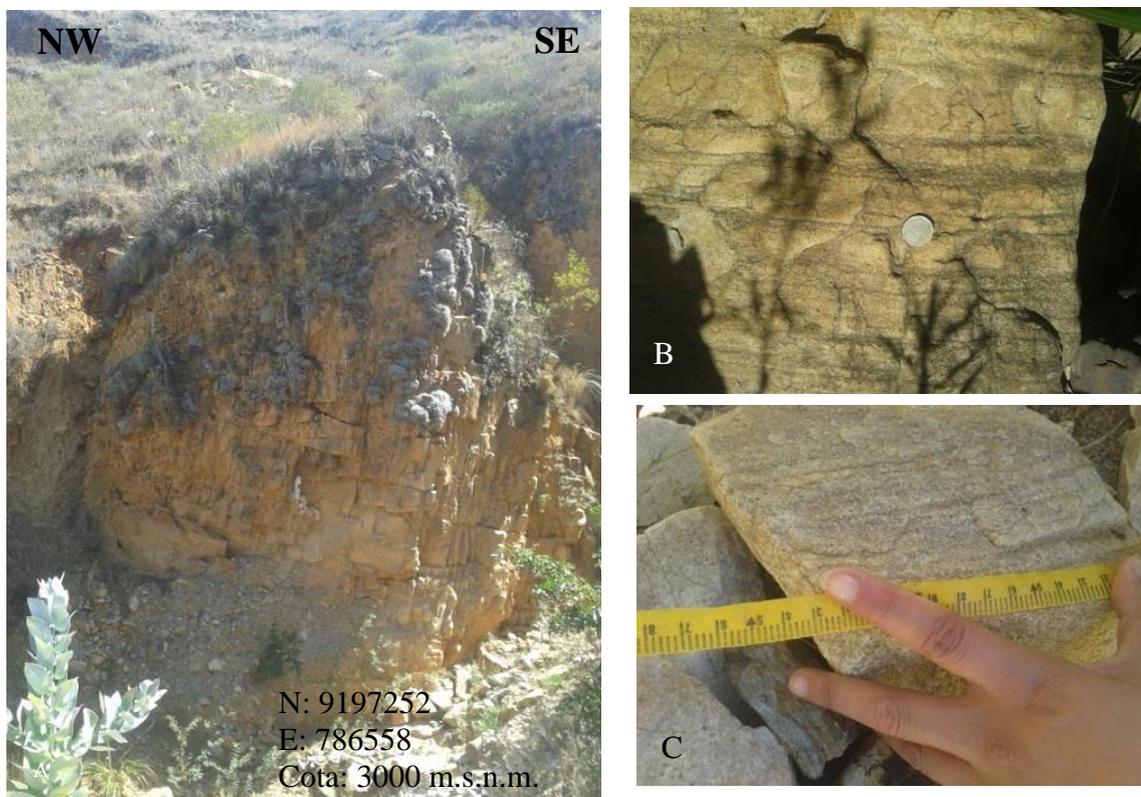


Foto N° 8: A. Afloramiento de la Formación Farrat. B. Areniscas blancas de grano medio con marcada estratificación cruzada y marcas de oleaje. C. areniscas cuarzosas de la Formación Farrat.

4.3.2. Depósitos Cuaternarios

En la zona los depósitos cuaternarios son del tipo fluvial y coluvio-aluvial. Estos materiales se describen a continuación:

Depósitos fluviales

Formados alrededor del río Cajamarquino, sus afluentes en la zona son la quebrada Shidin, Llumibamba y río Chonta; debido a esto los depósitos fluviales se hacen presente con materiales pobremente clasificados y consistentes en gravas gruesas y finas, arenas y depósitos limo-arcillosos; el material es depositado en el fondo del río y en las riberas.



Foto N° 9: Depósito Fluvial en los bordes del río Cajamarquino.

Depósitos coluvio-aluviales

Son aquellos depósitos que presentan tanto material de origen coluvial como aluvial; así los depósitos coluviales están constituidos por gravas, arenas y arcillas, que forman masas generalmente inestables y están englobados en una matriz principal arcillosa, el material grueso puede o no ser escaso y el material presenta una resistencia muy baja, aún más cuando hay incrementos en las presiones intersticiales producidos por lluvias intensas ; los depósitos aluviales está constituido por materiales transportados y depositados por el agua, los detritos

están mal clasificados y la granulometría varía desde grava de cantos y gránulos hasta arenas de grano grueso. La diferencia entre estos dos depósitos es mínima pues la zona en su mayoría presenta gravas, arenas y arcillas ya sea en matriz arcillosa en algunos casos y en matriz arenosa en la mayoría de casos, por tal hecho es que se ha considerado los depósitos del tipo coluvio-aluviales.

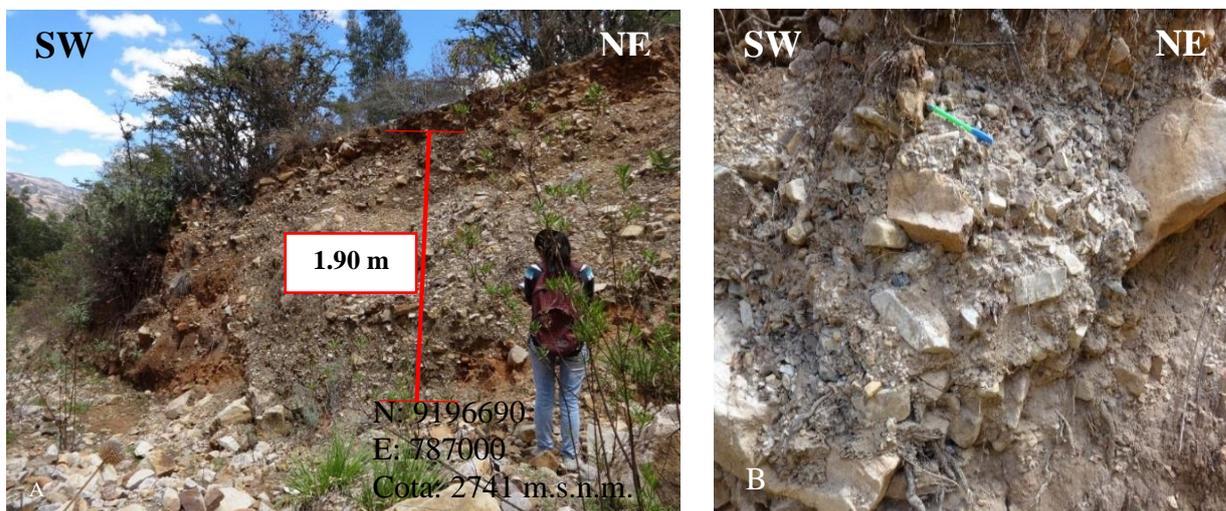


Foto N° 10: A: Depósito cuaternario del tipo coluvio-aluvial. B: Clastos angulosos de diferentes tamaños de areniscas y cuarcitas presentes en la quebrada Limibamba que se encuentra al.SW del distrito de Jesús.

4.4. ESTUDIO GEODINÁMICO

Para realizar la evaluación geodinámica de los deslizamientos se trabajó en campo, para luego procesar en gabinete los datos obtenidos, el estudio contiene a detalle la información del deslizamiento como: dimensiones, tipo de movimiento, evento, estado de la actividad, repetición, humedad, estilo del evento, importancia, ángulo de reposo y causas del movimiento.

Encontramos varios deslizamientos, ya se activos e inactivos; simples, compuestos y múltiples y de poca, mediana y gran extensión. Para el análisis se tomaron en cuenta a los factores detonantes al agua y la sismicidad, primero el análisis de suelos (SUCS), cálculo de coeficientes de sismicidad y análisis de precipitaciones.

4.4.1. Clasificación de Suelos (SUCS)

Para la clasificación de suelos se tomaron dos muestras, tomando en cuenta donde se ubican los deslizamientos y el material predominante.

➤ **Muestra N° 1 (M1)**



Foto N° 11: Depósito cuaternario tipo coluvio- aluvial, ubicado en la estación N° 1, deslizamiento N° 03.

La muestra N° 1 representa a un depósito cuaternario tipo coluvio-aluvial, cuyo análisis dio los siguientes resultados:

Tabla N°8: Resultados SUCS de la muestra N° 1.

Peso de la muestra: 1Kg		
Grava	Arena	Arcilla
57%	20%	13%
Límites de consistencia		
Limite líquido	32.10 %	
Límite plástico	18.33%	
Índice Plástico	13.77%	

Con los resultados obtenidos del análisis de la muestra se observa suelo que presenta tanto gravas, como arenas y finos; lo que indica que es un material coluvio-aluvial, debido a que este presenta desde materiales gruesos, gravas, cantos, guijarros hasta arenas gruesas, finas y finos.

Ahora según las clasificación de Braja, Das. (2013) cuando se tiene un índice plástico mayor a 7, corresponde a una grava arcillosa (GC). (Ver tabla N°11).

➤ **Muestra N° 2 (M2)**



Foto N° 12: Depósito cuaternario tipo aluvial ubicado en la estación N° 2, deslizamiento 05.

La muestra N° 2 representa a un depósito cuaternario tipo aluvial, cuyo análisis tiene los siguientes resultados:

Tabla N° 9: Resultados de la clasificación SUCS de la muestra N° 2.

Peso de la muestra: 1Kg		
Grava	Arena	Arcilla
12%	36%	48%
Límites de consistencia		
Límite líquido	28.32 %	
Límite plástico	16.40%	
Índice Plástico	11.92%	

Con los resultados obtenidos del análisis de la muestra es suelo que presenta tanto gravas, como arenas y finos; sin embargo presenta mayor porcentaje de arcillas, 48% que son suelos finos. Siguiéndole en porcentaje la arena con un 36% y por último la grava con tan solo un 12%. El límite líquido es 28.32%, por lo que se le asigna a la primera categoría de limos y arcillas.

Ahora según las clasificación de Braja, Das. (2013) cuando se tiene un índice plástico mayor a 7, le corresponde las siglas CL que significa una arcilla de baja plasticidad (ver tabla N°11)

Tabla N° 10: Criterios para la asignación de símbolos de grupos con el uso de ensayos de laboratorio.

Criterios para la asignación de símbolos de grupos con el uso de ensayos de laboratorio				Clasificación de suelos		
				Símbolo de grupo	Nombre del grupo	
Suelos de partículas gruesas más del 50% es retenido en la malla N° 200	Gravas Más del 50% de la fracción ruesa es retenido en la malla N° 4	Gravas limpias Menos del 5% pasa la malla N° 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien graduada	
			$Cu < 4$ y $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal graduada	
		Gravas con finos Más del 12% pasa la malla N° 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa	
			IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC M1	Grava arcillosa	
		Gravas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa la malla N° 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
			Cumple los criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
	Arenas El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla N° 4	Arenas limpias Menos del 5% pasa la malla N° 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada	
			$Cu < 6$ y $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal graduada	
		Arenas con finos Más del 12% pasa la malla N° 200	IP < 4 o debajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa	
			IP > 7 o arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa	
		Arenas limpias y con finos Entre el 5 y 12% pasa la malla N° 200	Cumple los criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
			Cumple los criterios para SW-SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
			Cumple los criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo	
Suelos de partículas finas	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánicos	IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CL M2	Arcilla de baja plasticidad	
			IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
	Limos y arcillas Límite líquido mayor que 50	Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido} - \text{secado al horno}}{\text{Límite líquido} - \text{no secado}} < 0.75$	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico	
			IP > 7 y se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
	Limos y arcillas Límite líquido mayor que 50	Inorgánicos	IP < 4 y se grafica en la carta de plasticidad debajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
			Orgánicos	$\frac{\text{Límite líquido} - \text{secado al horno}}{\text{Límite líquido} - \text{no secado}} < 0.75$	OH	Arcilla orgánica Limo orgánico
	Suelos altamente orgánicos	Principalemente materia orgánica de color oscuro.			Pt	Turba

Tabla N°11: Parámetros característicos del Suelo.

PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SUELO													
TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITE DE ATTERBERG			PESO ESPECIFICO		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE			PERMEABILIDAD
	<0.06	<2.00	(fracción < 0.04 mm)			Y	Ysum	Es= EO	(σ/σt)	Φ	ϕ	Φ'p	K
	mm	mm	wL	wP	lp	T/m3	T/m3	Es kp/cm2	σ	(°)	T/m ²		m/s
	%	%	%	%	%								
Grava	< 5	< 60	-	-	-	1.6	0.95	400	0.6	34	-	32	2.0E-01
			-	-	-	1.9	1.05	900	0.4	42	-	35	1.0E-02
Grava arenosa con pocos finos	< 5	< 60	-	-	-	2.1	1.15	400	0.7	35	-	32	1.0E-02
			-	-	-	2.3	1.35	1100	0.5	45	-	35	1.0E-06
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8	< 60	20	16	4	2.1	1.15	400	0.7	35	1	32	1.0E-09
	15		45	25	25	2.4	1.45	1200	0.5	43	0	35	1.0E-08
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos.	20	< 60	20	16	4	2	1.05	150	0.9	28	3	22	1.0E-09
	40		50	25	30	2.25	1.3	400	0.7	35	0.5	30	1.0E-11
Arena uniforme fina	< 5	< 100	-	-	-	1.6	0.95	150	0.75	32	-	30	2.0E-04
			-	-	-	1.9	1.1	300	0.6	40	-	22	1.0E-03
Arena uniforme gruesa	< 5	< 100	-	-	-	1.6	0.95	250	0.7	34	-	30	5.0E-03
			-	-	-	1.9	1.1	700	0.55	42	-	34	2.0E-04
Arena bien graduada y arena con grava	< 5	< 100	-	-	-	1.8	1	200	0.7	33	-	32	5.0E-04
			-	-	-	2.1	1.2	600	0.55	41	-	34	2.0E-03
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8	> 60	20	16	4	2.9	1.05	150	0.8	32	1	30	1.0E-03
	15		45	25	25	2.25	1.3	500	0.65	40	0	32	1.0E-07
Arena con finos que alteran la estructura granular	20	> 60	20	16	4	1.8	0.9	50	0.9	25	5	22	1.0E-07
	40		50	30	30	2.15	1.1	250	0.75	32	1	30	1.0E-10
Limo poco plástico	>50	>80	25	20	4	1.75	0.95	40	0.8	28	2	25	1.0E-04
			35	28	11	2.1	1.1	110	0.6	35	0.5	30	5.0E-06
Limo de plasticidad media a alta.	>80	>100	35	22	7	1.7	0.85	30	0.9	25	3	22	2.0E-05
			50	25	20	2	1.05	70	0.7	33	1	29	2.0E-06
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25	15	7	1.9	0.95	20	1	24	6	20	1.0E-07
			35	22	16	2.2	1.2	50	0.9	32	1.5	28	2.0E-09
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40	18	16	1.8	0.85	10	1	20	8	10	5.0E-06
			50	25	28	2.1	1.1	30	0.95	30	2	20	1.0E-10
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60	20	33	1.65	0.7	6	1	17	10	6	1.0E-09
			85	35	55	2	1	20	1	27	3	15	1.0E-11
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45	30	10	1.55	0.55	5	1	20	7	15	1.0E-11
			70	45	30	1.9	0.9	20	0.8	26	2	22	1.0E-09
Turba	-	-	-	-	-	1.04	0.04	3	1	25	1.5	-	1.0E-05
	-	-	-	-	-	1.3	0.3	8	1	30	0.5	-	1.0E-09
Fango	-	-	100	30	50	1.25	0.25	4	1	22	2	-	1.0E-07
	-	-	250	80	170	1.6	0.6	15	0.9	28	0.5	-	1.0E-08

En la tabla antes mostrada se observan los coeficientes de fricción y cohesión asignados a cada muestra de suelo, estos datos serán requeridos por el Slide para el cálculo de los factores de seguridad.

4.4.2. Cálculo de los coeficientes de aceleración horizontal y coeficiente de aceleración vertical

Para el cálculo de los coeficientes de aceleración horizontal (K_h) y coeficiente de aceleración vertical (K_v) se hará uso del siguiente cuadro:

Tabla N° 12: Parámetros a tener en cuenta para el cálculo de los coeficientes de aceleración horizontal y vertical.

ZONAS SÍSMICAS DEL PERÚ	COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN TOPOGRÁFICA (S_t)	CATEGORÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO (S)
1= 0.10 2= 0.25 3= 0.35 4= 0.45	<p>ST=St=1.4 Sitios cercanos a la cúspide de perfiles topográficos con amplitud en crestas muy inferiores al largo de la base y pendiente media $> 30^\circ$.</p> <p>ST=St=1.2 Idéntico al anterior, para sitios del mismo tipo pero con pendiente $< 30^\circ$</p> <p>ST=St=1.2 para sitios en proximidad al borde superior de taludes aislados $> 15^\circ$.</p> <p>ST=St=1 Para rocas.</p>	<p>Tipo A: S = 1 Suelos homogéneos muy rígidos (Puede ser roca)</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 gravas medianamente adensadas o arcillas de mediana 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>



Figura N° 17: Zonificación sísmica del Perú. Fuente: (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016)

Tabla N° 13: Factores de zona

Factores de Zona	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Tomando en cuenta los datos mostrados anteriormente y relacionándolos con la zona se asigna un coeficiente de amplificación estratigráfica $St=1.2$, debido a que los deslizamientos se hallan en laderas, zonas cuya pendiente oscila entre $20-50^\circ$ sin embargo al observar detenidamente cada zona, encontramos que las zonas no superan la pendiente de 35° , por lo cual aunque no se asume literal es la St que más se adecua a la zona.

Como valor para el perfil estratigráfico S , se asignó 1.25 , debido a que los deslizamientos se hallan en depósitos tipo coluvio-aluviales que presentan arenas, gravas y arcillas de media consistencia; con estos datos ingresándolos al software Leapfrog se obtuvo un coeficiente de aceleración horizontal de 0.263 y un coeficiente de aceleración vertical de 0.132 para la zona.

Tabla N° 14: Coeficiente de aceleración horizontal y vertical aplicables a la zona.

Coeficiente de aceleración Horizontal (Kh)	Coeficiente de Aceleración Vertical (Kv)
0.263	0.132

4.4.3 Análisis de Precipitaciones

Para el análisis de precipitaciones se usará la data obtenida de la estación metereológica Augusto Weberbauer:

Tabla N° 15: Ubicación de la Estación Metereológica Augusto Weberbauer.

UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN METEREOLÓGICA AUGUSTO WEBERBAUER	
Coordenada Este	776 876.66
Coordenada Norte	9206967.99
Cota	2678 msnm.
Departamento	Cajamarca
Provincia	Cajamarca
Distrito	Cajamarca
Institución	Universidad Nacional de Cajamarca

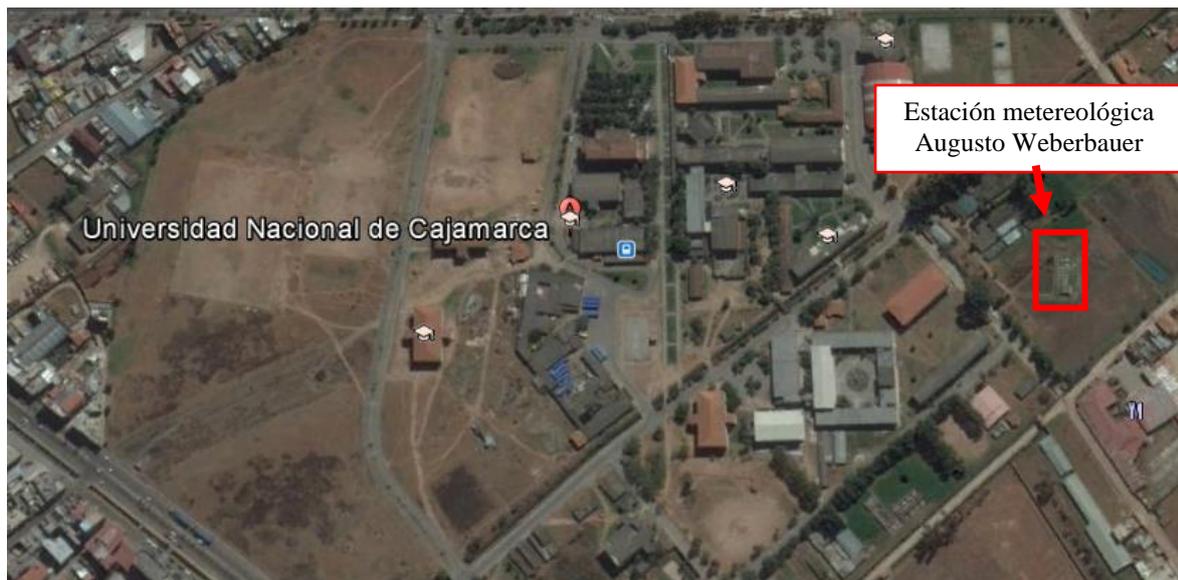


Figura N° 18: Ubicación de la Estación Meteorológica Augusto Weberbauer - UNC. (Google Earth, 2017)

A la data obtenida de la estación metereológica Weberbauer, se le aplicó el Factor de Transposición de precipitaciones de (Ortiz, 1994)

Tabla N° 16: Datos de precipitación de la estación Weberbauer.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2007	95.4	17.5	182.4	111.5	24.0	1.4	10.7	6.4	11.6	118.9	97.6	68.8
2008	80.2	133.3	118.4	99.1	22.7	15.4	2.3	11.7	34.7	46.5	72.2	34.4
2009	160.7	74.6	110.5	78.8	42.2	17.4	12.3	3.9	11.8	78.5	109.4	74.2
2010	49.5	112.9	123.1	110.9	40.0	8.6	2.6	1.3	27.9	44.4	52.5	70.8
2011	76.6	73.3	125.2	101.6	17.1	0.4	8.3	0.0	47.1	31.5	24.4	109.7
2012	152.3	136.6	126.4	72.8	51.5	0.2	0.0	2.5	19.1	83.2	120.3	57.7
2013	62.1	98.0	213.3	73.8	65.6	7.5	5.7	21.5	3.7	110.7	10.9	51.9
2014	75.5	89.7	191.8	104.7	38.3	6.9	2.5	5.0	37.3	34.8	60.1	153.0
2015	243.9	72.8	266.3	83.8	76.6	3.0	4.5	0.1	28.2	16.8	99.6	39.5
2016	82.9	85.3	121.3	56.2	7.0	1.6	2.1	1.1	25.1			

CALCULO DEL FACTOR DE TRANSPOSICION DE PRECIPITACIONES

Estación Weberbauer (UNC) – a los alrededores del distrito de Jesús

Ecuación de Oswald *

Tabla N° 17: Cálculo del factor de transposición de precipitaciones.

CALCULO DEL FACTOR DE TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIONES

Estación Weberbauer (UNC) - a Zona Jesús

Ecuación de Oswald*

Zona Jesús	Precipitación a la altitud H	PP	82.4	mm	PP Abril de 2015
Estación Weberbauer	Precipitación a la altitud H₁	PP₁	83.8	mm	
Zona Jesús	Altitud Media de zona Jesús.	H	2,612.00	msnm	
Estación Weberbauer	Altitud Media Estación Weberbauer	H₁	2,655.00	msnm	

Factor de transposición	H/H₁	0.984
-------------------------	------------------------	-------

Fuente:* Ortiz, (2015) - Investigador UNC en Hidrología y Cuencas

TRANSPOSICION ORTIZ, O. (1994)

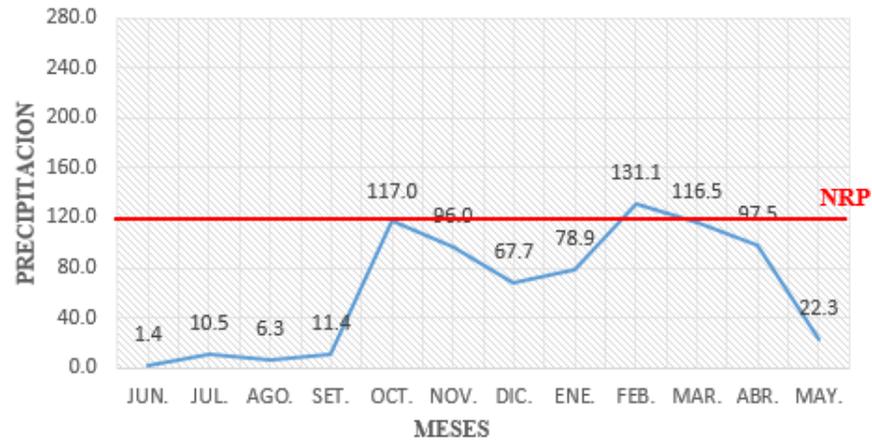
$$PP = \frac{H}{H_1} * PP_1$$

A partir de la data anterior y tras aplicar el Factor de Transposición, se obtuvo la siguiente data:

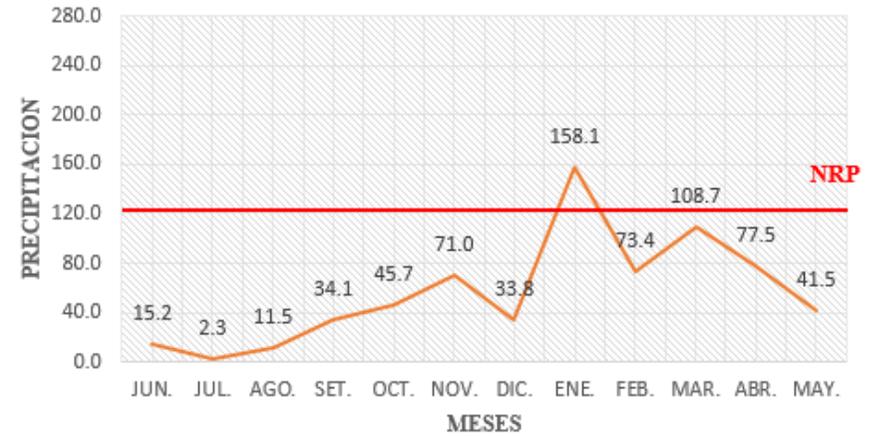
Tabla N° 18: Data de precipitaciones de la zona de estudio.

	AÑO ANTERIOR							AÑO POSTERIOR					SUM.
	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	
2007-2008	1.4	10.5	6.3	11.4	117.0	96.0	67.7	78.9	131.1	116.5	97.5	22.3	756.6
2008-2009	15.2	2.3	11.5	34.1	45.7	71.0	33.8	158.1	73.4	108.7	77.5	41.5	672.9
2009-2010	17.1	12.1	3.8	11.6	77.2	107.6	73.0	48.7	111.1	121.1	109.1	39.4	731.9
2010-2011	8.5	2.6	1.3	27.4	43.7	51.6	69.7	75.4	72.1	123.2	100.0	16.8	592.2
2011-2012	0.4	8.2	0.0	46.3	31.0	24.0	107.9	149.8	134.4	124.4	71.6	50.7	748.7
2012-2013	0.2	0.0	2.5	18.8	81.9	118.4	56.8	61.1	96.4	209.8	72.6	64.5	782.9
2013-2014	7.4	5.6	21.2	3.6	108.9	10.7	51.1	74.3	88.2	188.7	103.0	37.7	700.4
2014-2015	6.8	2.5	4.9	36.7	34.2	59.1	150.5	239.9	71.6	262.0	82.4	75.4	1026.1
2015-2016	3.0	4.4	0.1	27.7	16.5	98.0	38.9	81.6	83.9	119.3	55.3	6.9	535.6
2016	1.6	2.1	1.1	24.7									29.4

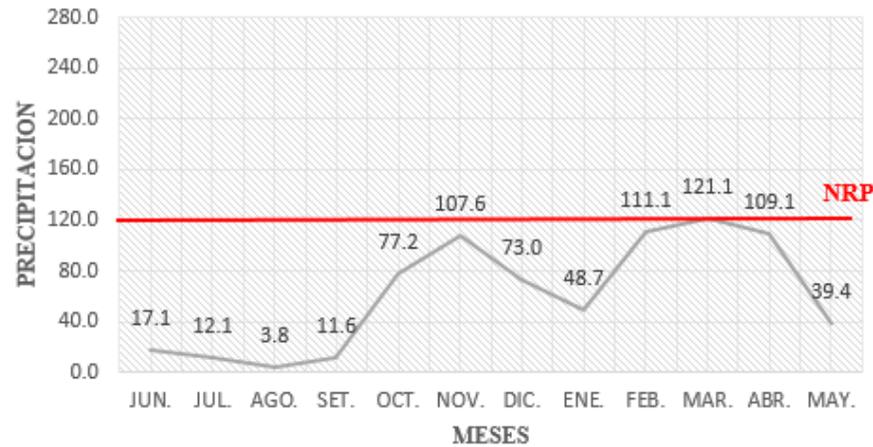
PRECIPITACIONES 2007-2008



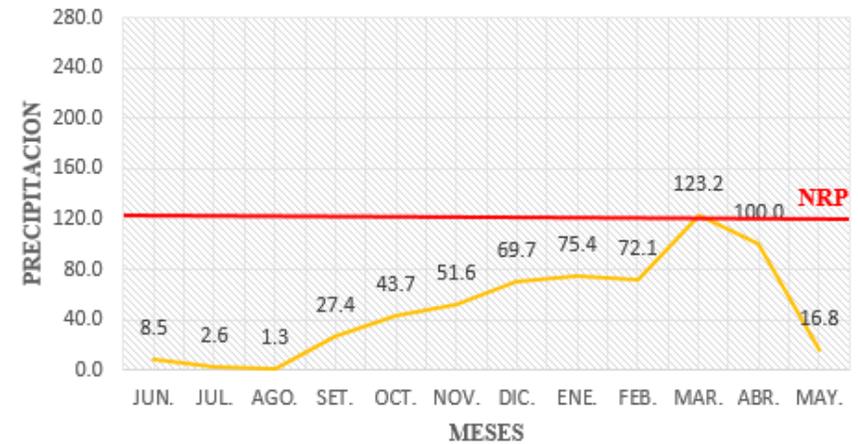
PRECIPITACIONES 2008-2009



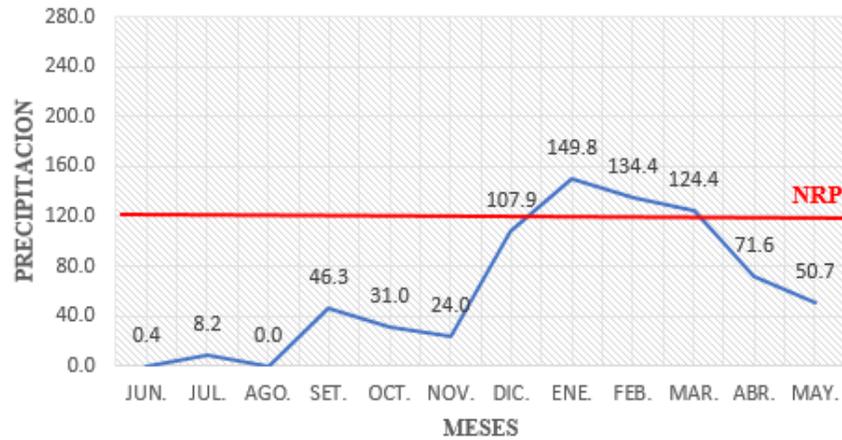
PRECIPITACIONES 2009-2010



PRECIPITACIONES 2010-2011



PRECIPITACIONES 2011-2012



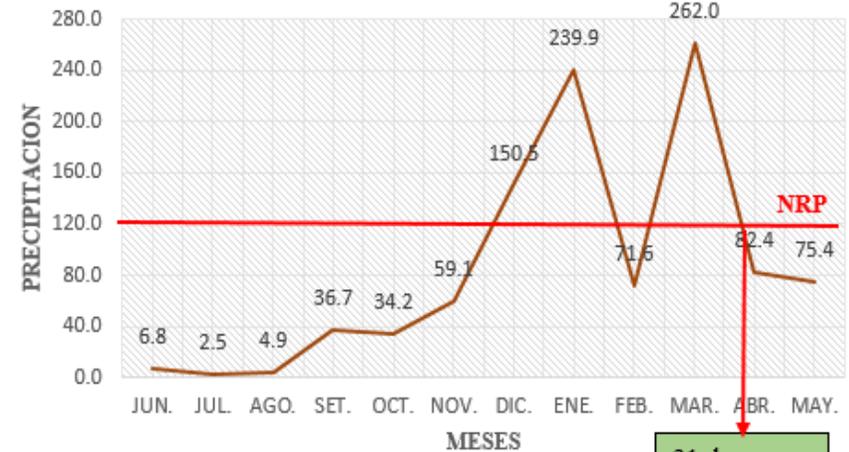
PRECIPITACION 2012-2013



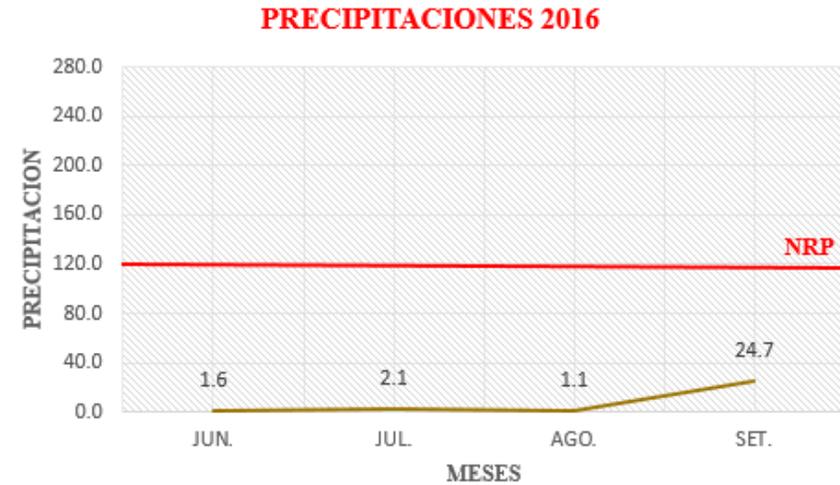
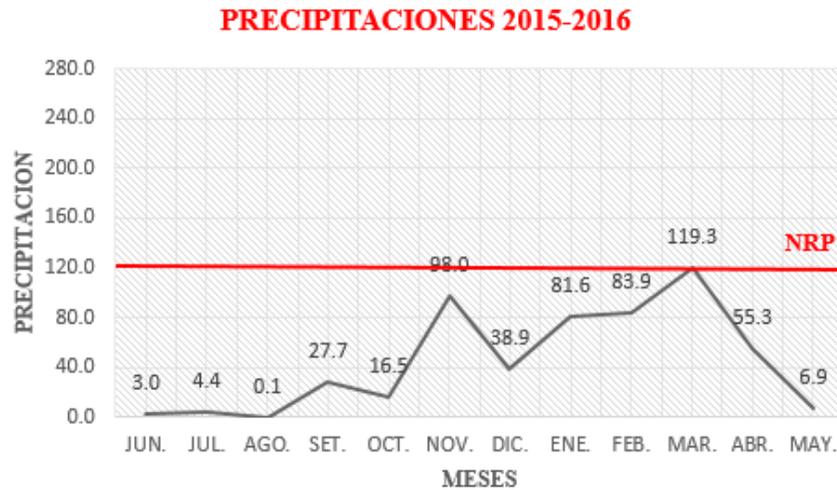
PRECIPITACIONES 2013-2014



PRECIPITACIONES 2014-2015



21 de marzo



En el análisis de precipitaciones se usó el factor de transposición de Oswald y se utilizó como NRP (nivel referencial de precipitaciones) la fecha de 21 de marzo del 2015, fecha en la que ocurrió el último deslizamiento en la Estación N° 5, en la Succha, dejando incomunicados a los pobladores del caserío con el distrito de Jesús y obstruyendo en su totalidad al puente que conecta el distrito y el caserío; el NRP representa la cantidad máxima de precipitaciones en mm que el deslizamiento asimiló entre sus partículas sin fallar, sobre este NRP se asume que las zonas de deslizamientos caerían; tomando como base la fecha antes mencionada, nuestra NRP se ubicó en 120 mm de precipitación para cada año; observando que las precipitaciones aumentaron de forma significativa a partir del año 2011, superando en los años posteriores la línea de NRP en los meses de Diciembre a abril, meses de lluvias intensas; asumiendo entonces que en dichos años la probabilidad de deslizamiento aumentó.

4.4.4 Estaciones Geodinámicas

Estación N° 1

Encontramos cuatro deslizamientos de grandes dimensiones, se encuentran al NE del poblado de Jesús, y las bases del Dz-01, Dz-02 y Dz-03 llegan al borde del río Cajamarquino ;caracterizados por una composición de clastos medianos de areniscas blanquecinas y cuarcitas en una matriz de finos, toda la zona se halla en un depósito cuaternario del tipo coluvio.- aluvial.

El eje principal del Dz-01 y Dz-02 se halla al SW, Dz-03 está al SE, mientras que el eje principal del Dz-04 se halla al NW; este último es un paleodeslizamiento.

Para escoger las zonas a analizar de posibles deslizamientos, se hace a conveniencia, así la tesisista escogió aquellos deslizamientos que representaran una amenaza física a los pobladores o a las actividades que ellos realizan; en esta estación se observa varios factores que representan amenazas: el Dz-01, Dz-02 y Dz-03 además de ser continuos uno con otro, presentan grandes dimensiones, a esto le sumamos que el material deslizado irá a parar directamente en el cauce del río cajamarquino, hecho que impedirá el flujo normal de agua justamente en los meses en los que más caudal presenta, lo cual generaría múltiples daños: inundaciones, obstrucción de accesos y peligro físico a la población. (Ver anexo 1: Dz-01, Dz-02, Dz-03 y Dz-04).

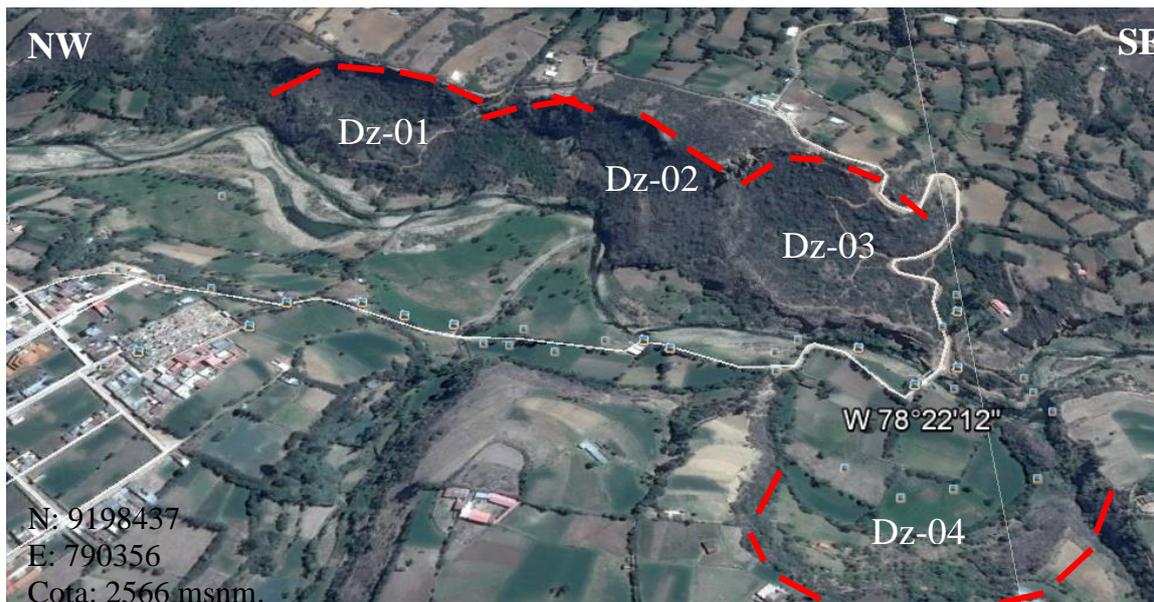


Figura N° 19: Imagen satelital de la Estación geodinámica N° 1, en ella se observa el Dz-01, Dz-02, Dz03 y Dz-04, este último es un paleodeslizamiento. Fuente: (Google earth, 2017)

Tabla N° 19: Matriz de información del deslizamiento N° 1.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-01	Coordenada Norte	9198633	Coordenada Este	789825	Cota	2557 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
218	157	135	113	52	67	156	123
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
x	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
x	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
x	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo		x					
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°		Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°		
		x					

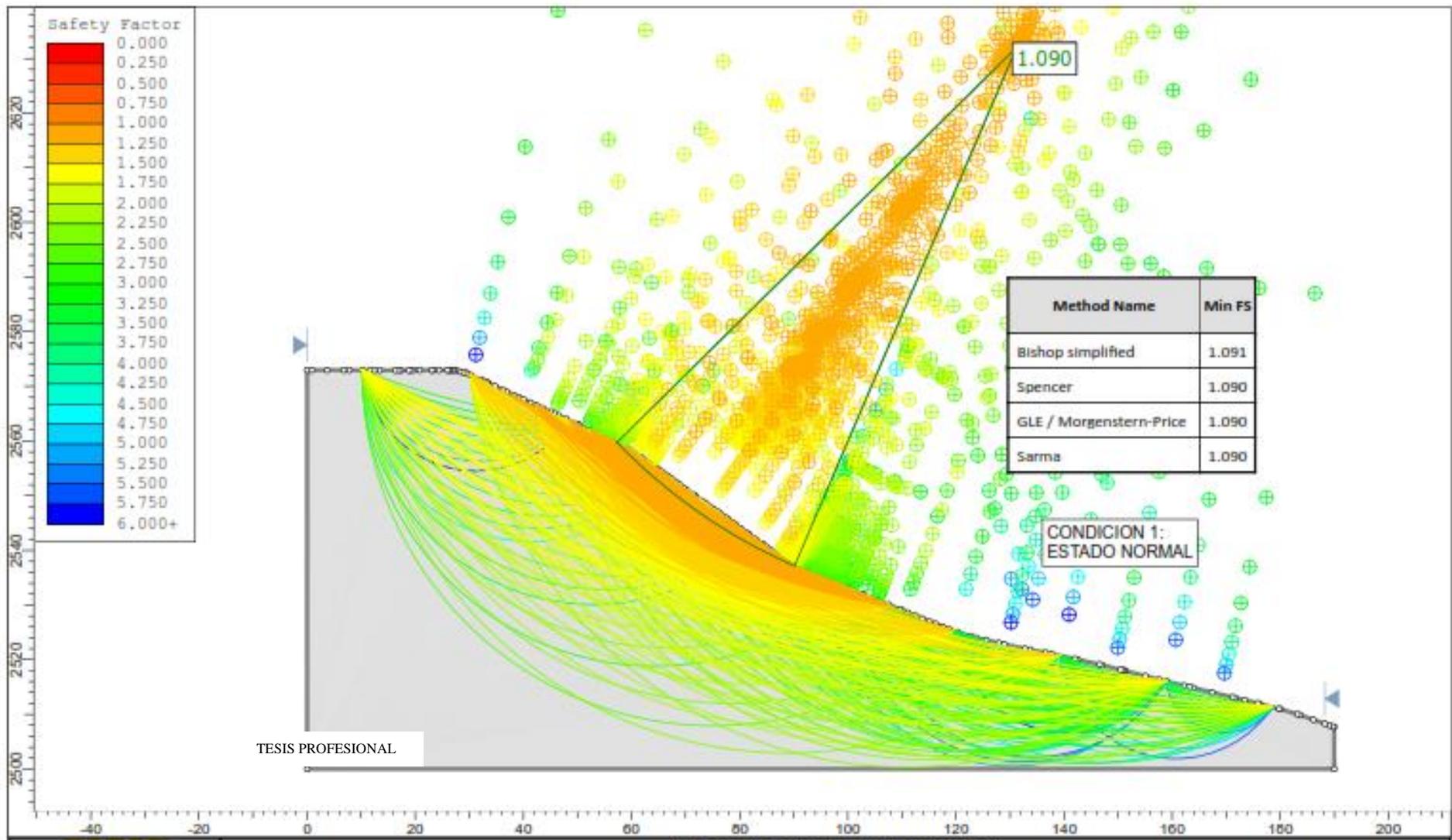


Figura N° 20: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 01.

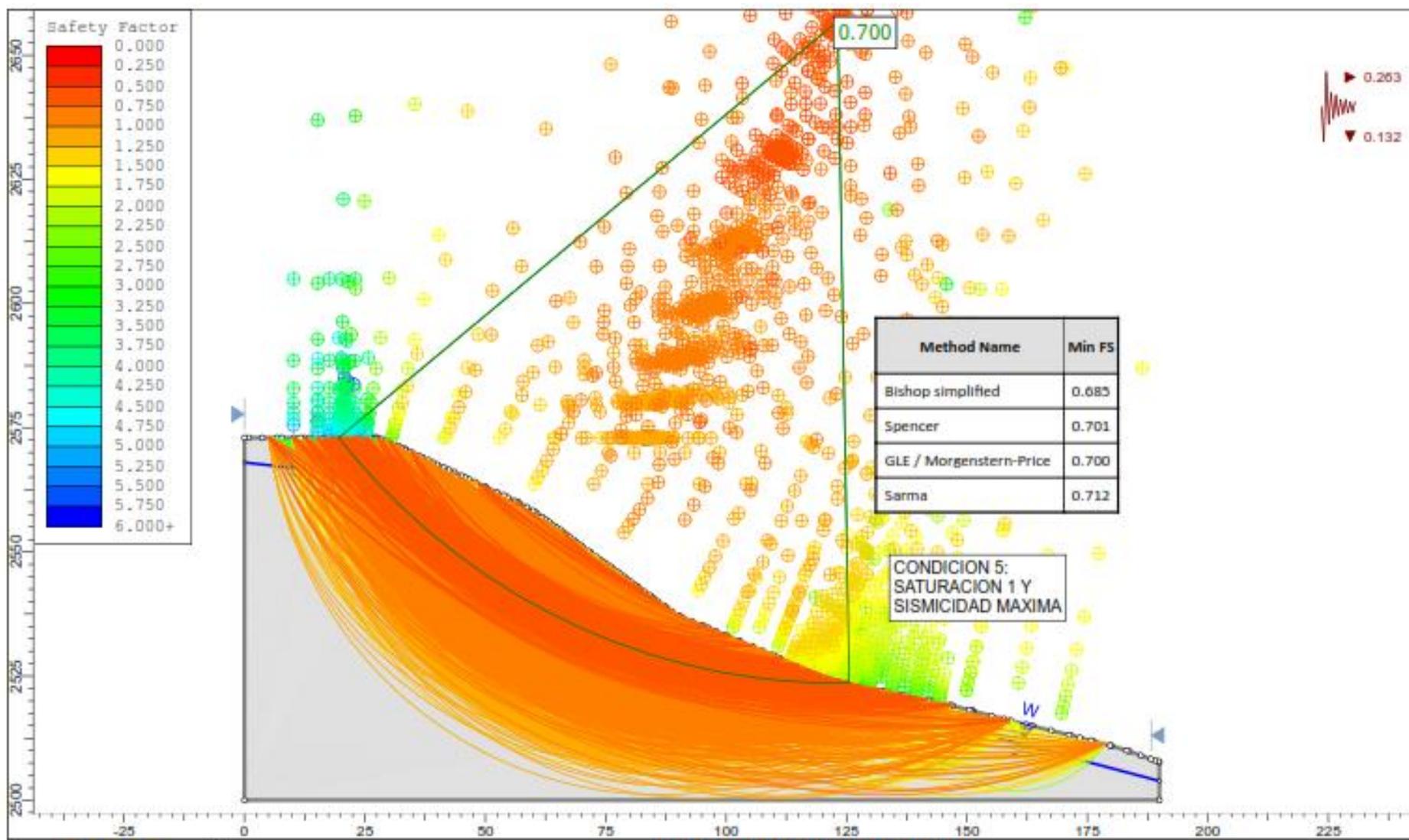


Figura N° 21: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-01.

Tabla N° 20: Matriz de datos del deslizamiento N° 2.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-02	Coordenada Norte	9198524	Coordenada Este	790136	Cota	2561m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa deslizada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
240	178	100	125	28	42	136	109
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
x	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
x	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
x	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo		x					
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°		Arena gruesa 35°-45°		Grava y bloques >46°			
		x					

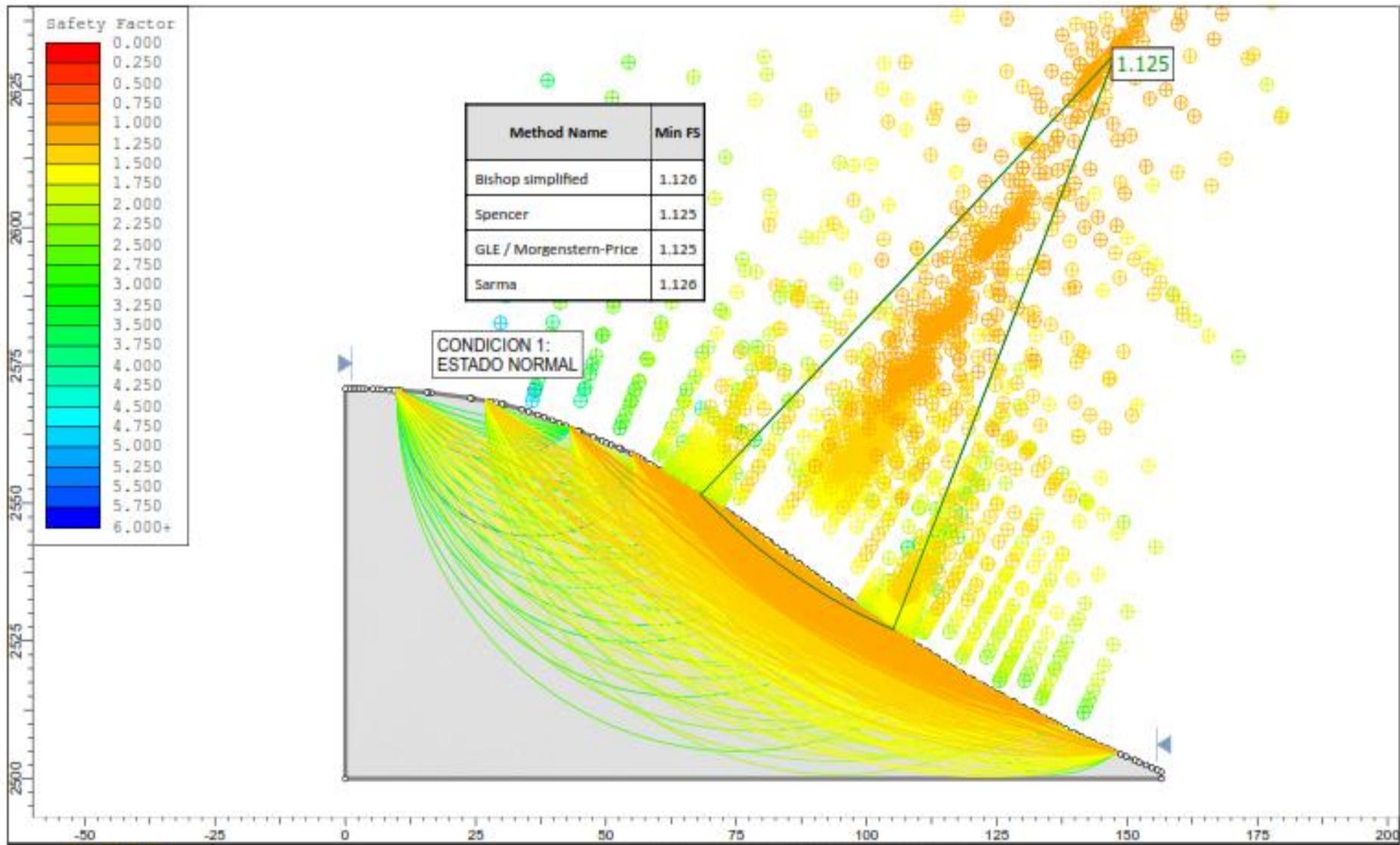


Figura N° 22: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 02.

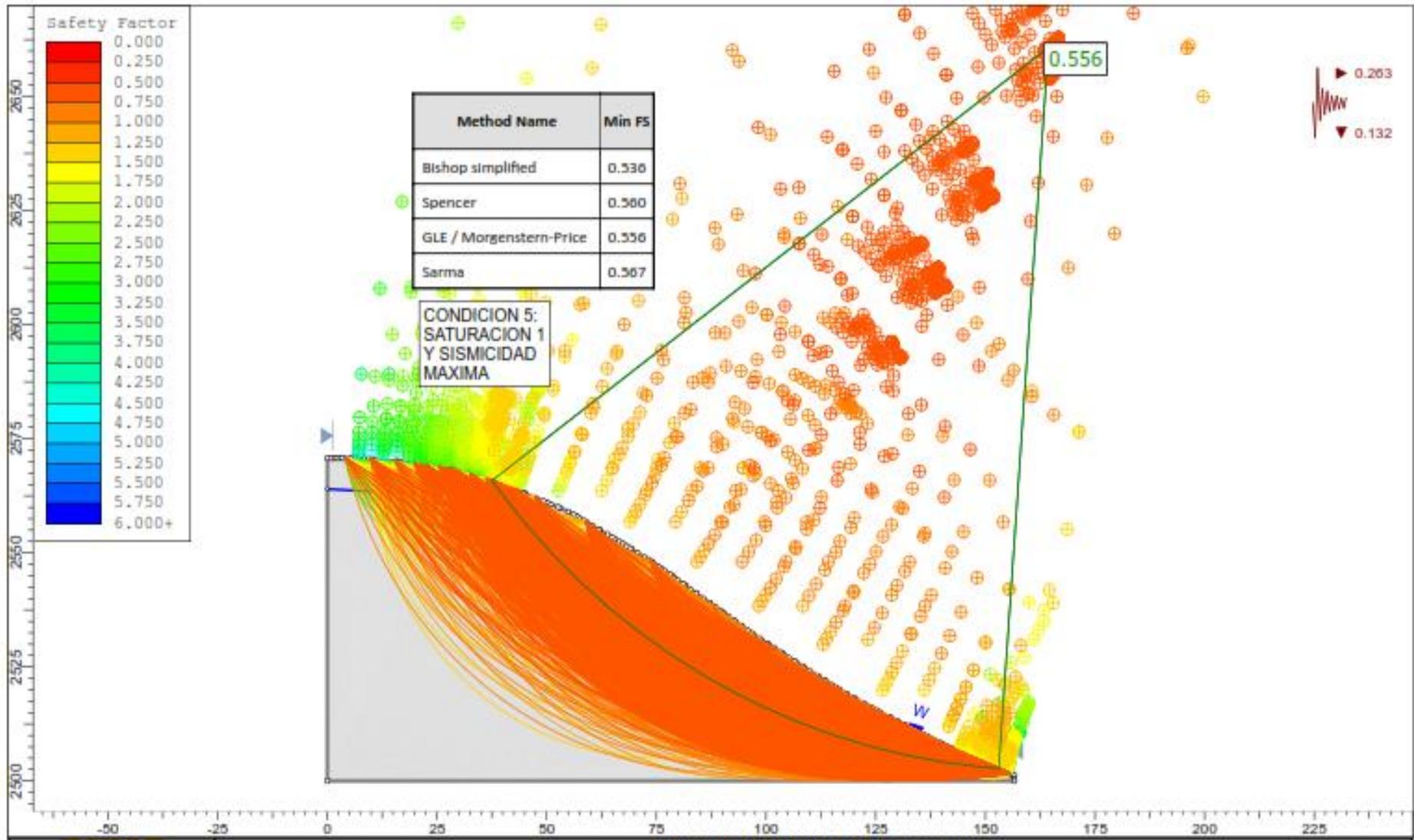


Figura N° 23: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-02.

Tabla N° 21: Matriz de datos del deslizamiento N° 3.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-03	Coordenada Norte	9198437	Coordenada Este	790282	Cota	2551 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
179	115	194	180	39	70	260	228
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
x	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
x	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
x	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo		x					
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
			x				

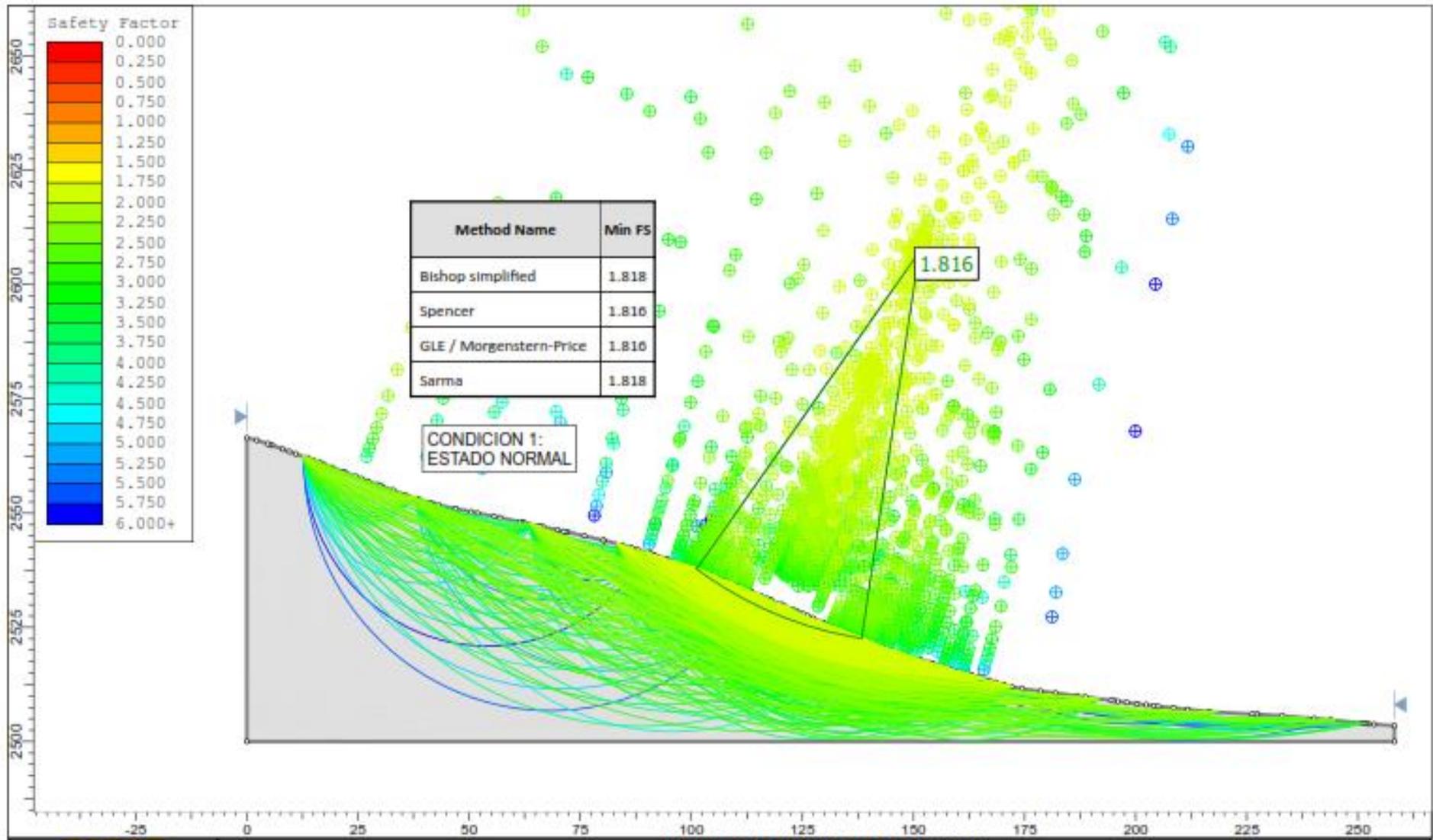


Figura N° 24: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 03.

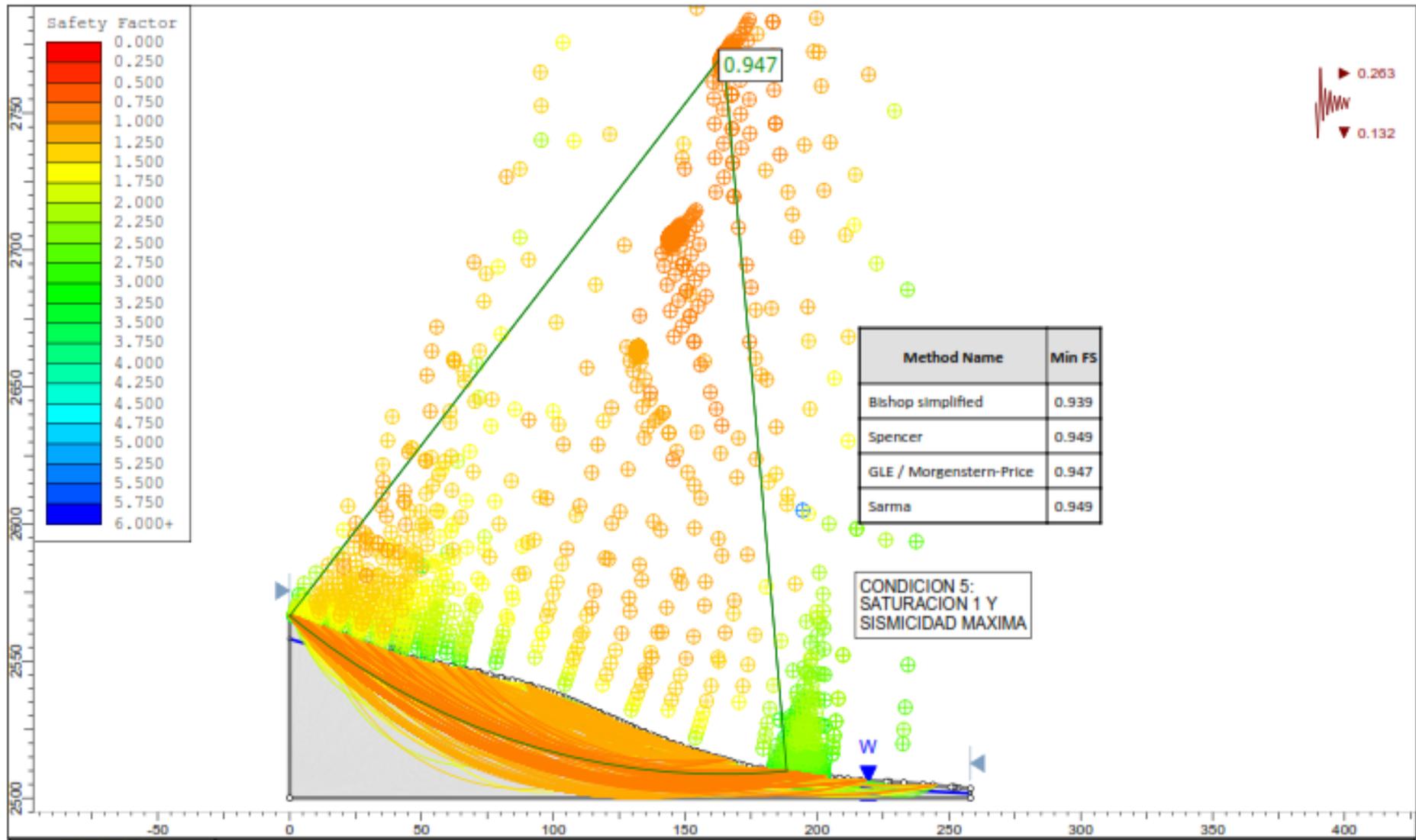


Figura N° 25: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-03.

Tabla N° 22: Matriz de datos del deslizamiento N° 4.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-04	Coordenada Norte	9197856	Coordenada Este	790419	Cota	2538 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa deslizada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
272	226	265	215	68	78	346	308
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		x
x	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
x	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
x	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		x
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo		x					
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°		Arena gruesa 35°-45°		Grava y bloques >46°			
		x					

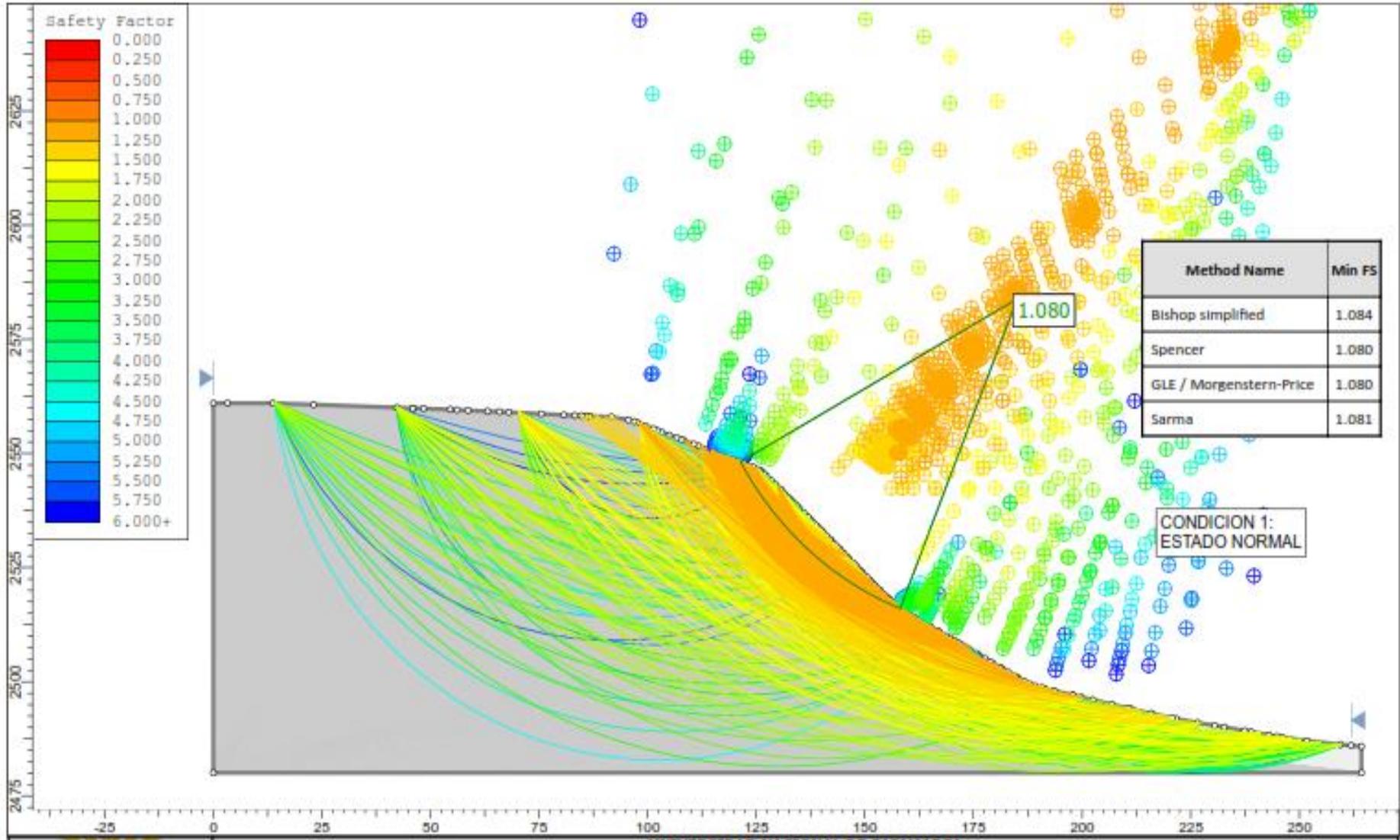


Figura N° 26: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 04.

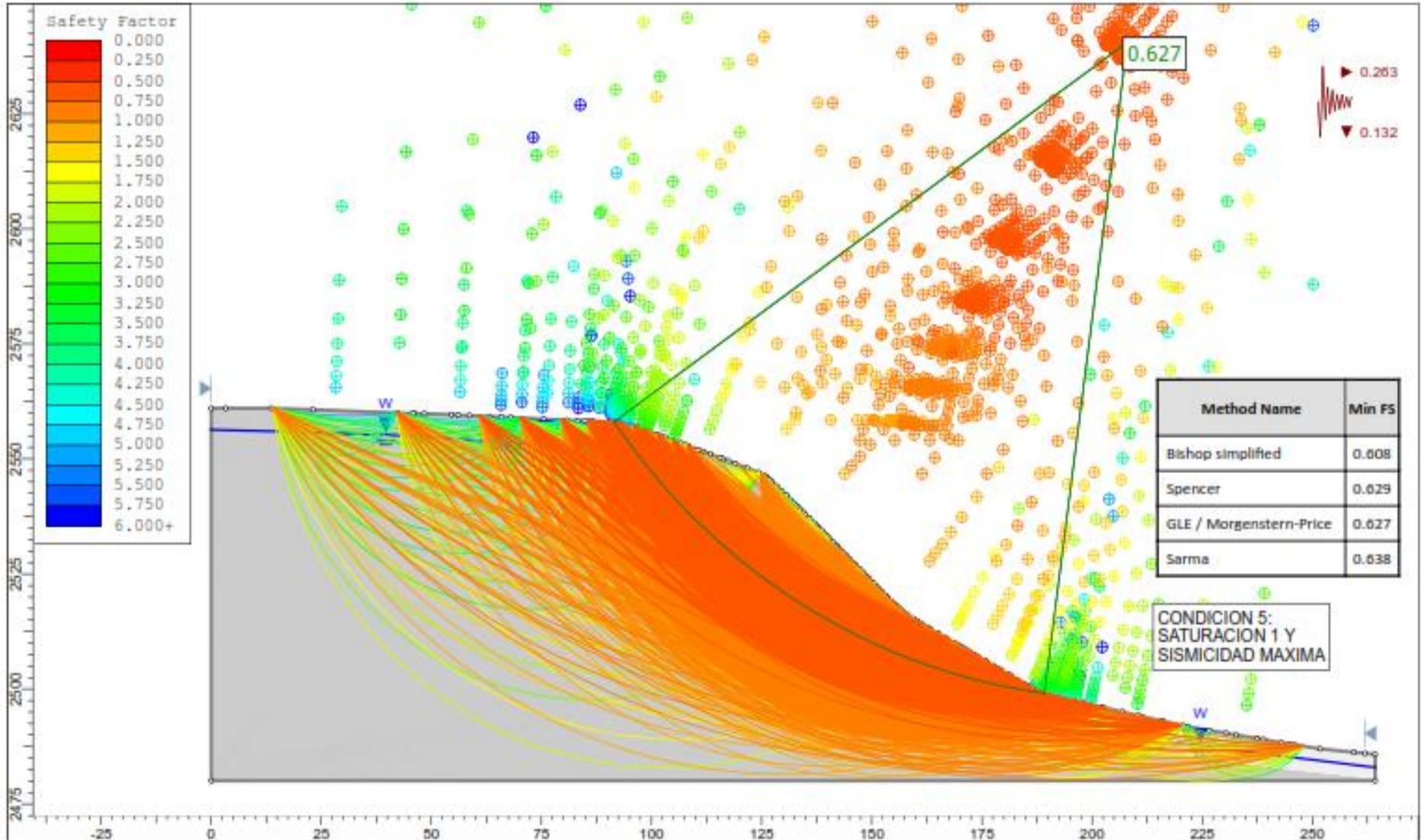


Figura N° 27: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-04.

Estación N° 2

Este deslizamiento es clasificado como un deslizamiento que se reactiva en épocas de lluvia; debido a las condiciones adversas de la zona donde se halla ubicado, pendiente $> 75^\circ$, presencia de una zona pantanosa en la parte alta de la ladera, material cuaternario suelto en la composición y ladera que desemboca a un puente que une el caserío Succha con el distrito de Jesús, ; es del tipo rotacional con eje principal en dirección al SW y es clasificado como un deslizamiento de alta importancia, debido a sus grandes dimensiones, a los daños que causa tanto a la infraestructura como a la econom (Ver anexo 1: Dz-05).



Figura N° 28 : Imagen satelital en la estación N° 2 del Dz-05, del tipo rotacional. Se observa la zona pantanosa en la parte alta del deslizamiento en coloro amarillo y en color rojo el deslizamiento delimitado. Fuente: (Google earth, 2017)



Foto N° 13: A. Zona pantanosa de aprox. 30m, ubicada en la cabecera de la ladera. B: grietas paralelas y descendentes en la ladera. C. Grieta mayor en la parte alta de la ladera, de ancho:55 cm y D. Material coluvio-aluvial deslizándose, al pie de la ladera, este material llega al puente que conecta el caserío Succha con el distrito de Jesús.

Tabla N° 23: Matriz de datos del deslizamiento N° 5.

LIZAMIENTO							
Código	Dz-05	Coordenada Norte	788654	Coordenada Este	9198930	Cota	2538 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
56	76	38	73	10	12	80	43
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo	x	
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
						x	
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto		x		Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo							
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
			x				

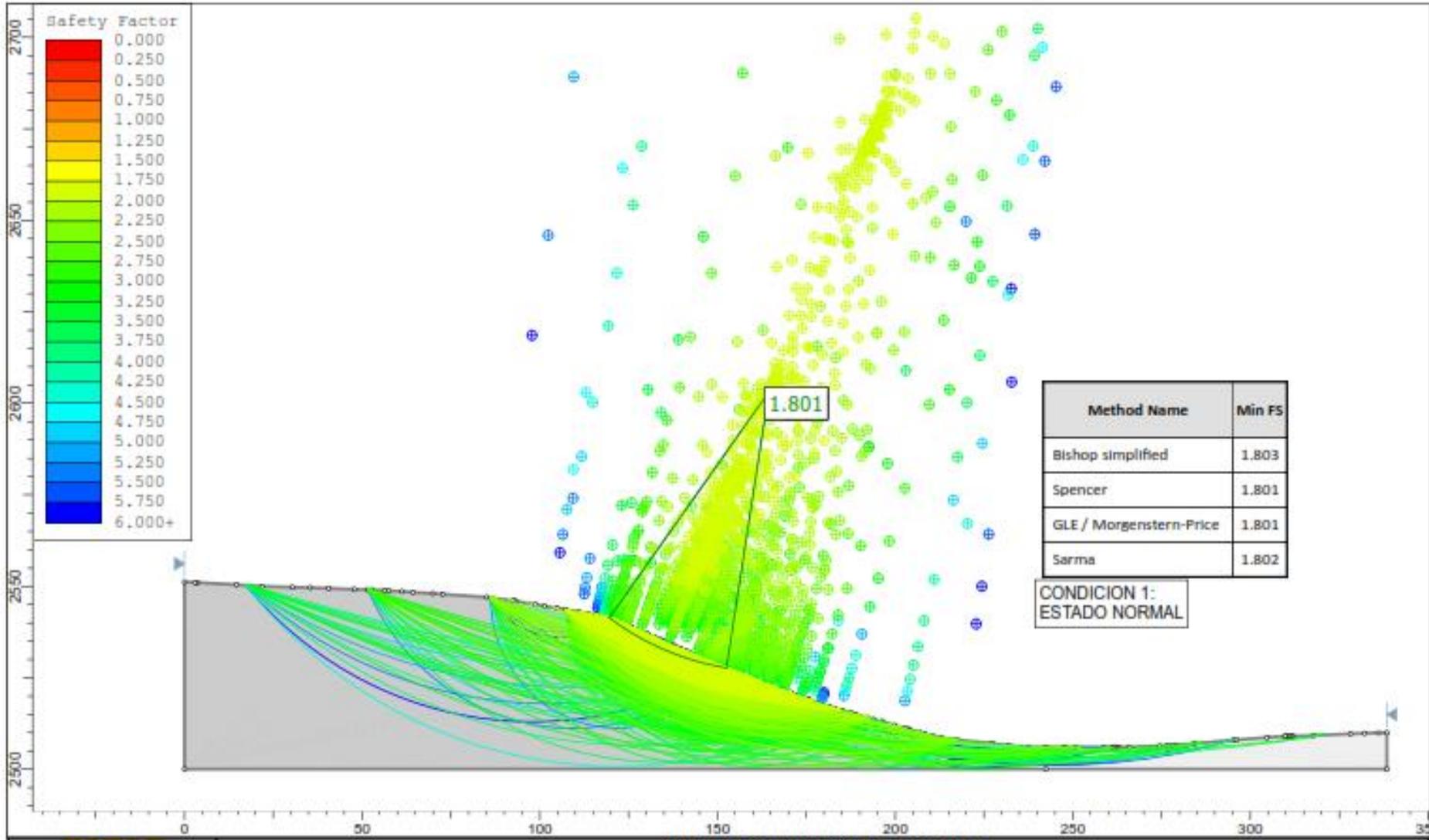


Figura N° 29: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 05.

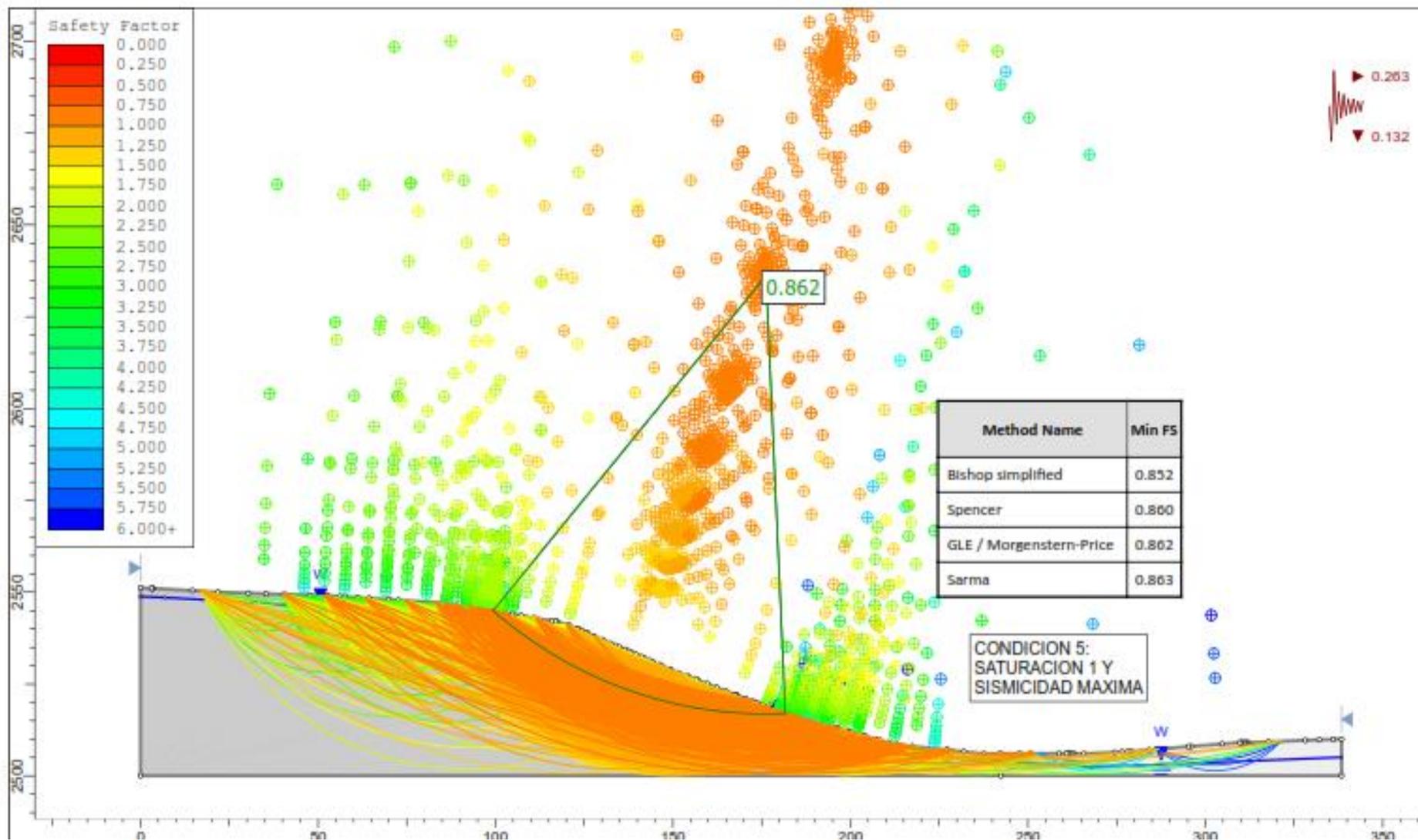


Figura N° 30: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-05.

Estación N° 3

La estación 3 se encuentra ubicada al SW del distrito de Jesús, en ladera se puede observar que el terreno de deslizamiento en progreso, tipo traslacional, con eje principal al SE y en material coluvio-aluvial. (Ver anexo 1: Dz-06).

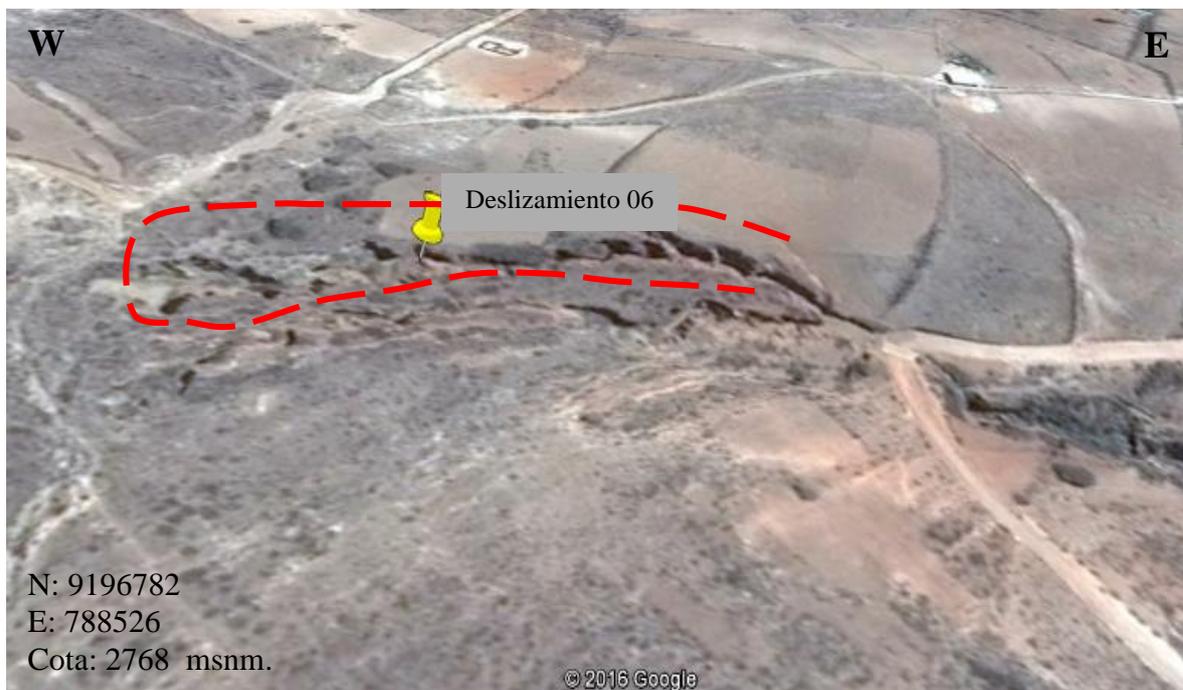


Figura N° 31: Deslizamiento 06 en la Estación N° 3, tipo traslacional, con eje principal al SE y en material coluvio-aluvial. Fuente: (Google earth. 2017)

Tabla N° 24: Matriz de datos del deslizamiento N° 6.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-06	Coordenada Norte	9196782	Coordenada Este	788526	Cota	2768 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
10	23	109	101	10	14	147	124
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
		x					x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta			
Compuesto		x		Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo							
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
			x				

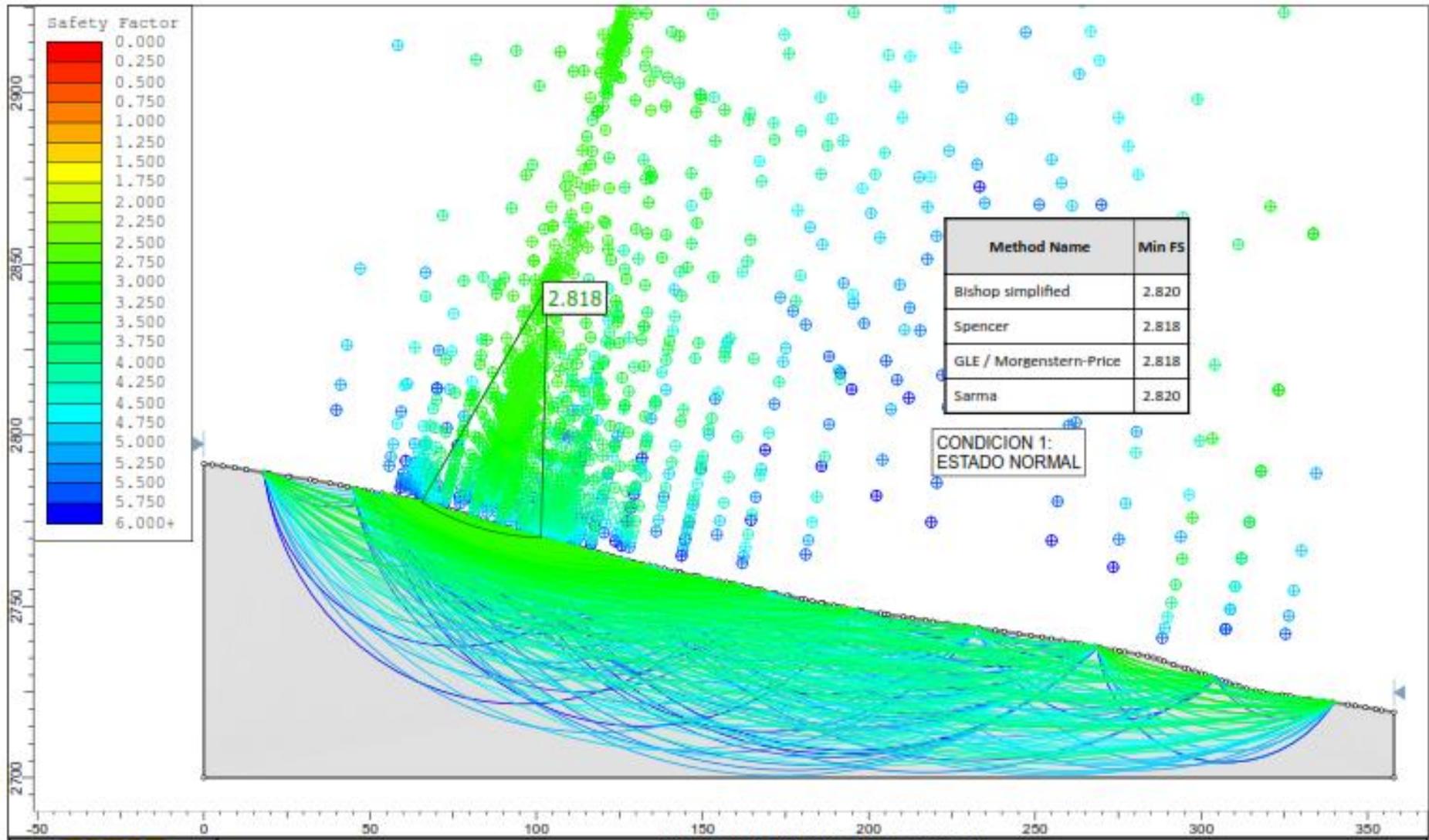


Figura N° 32: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 06.

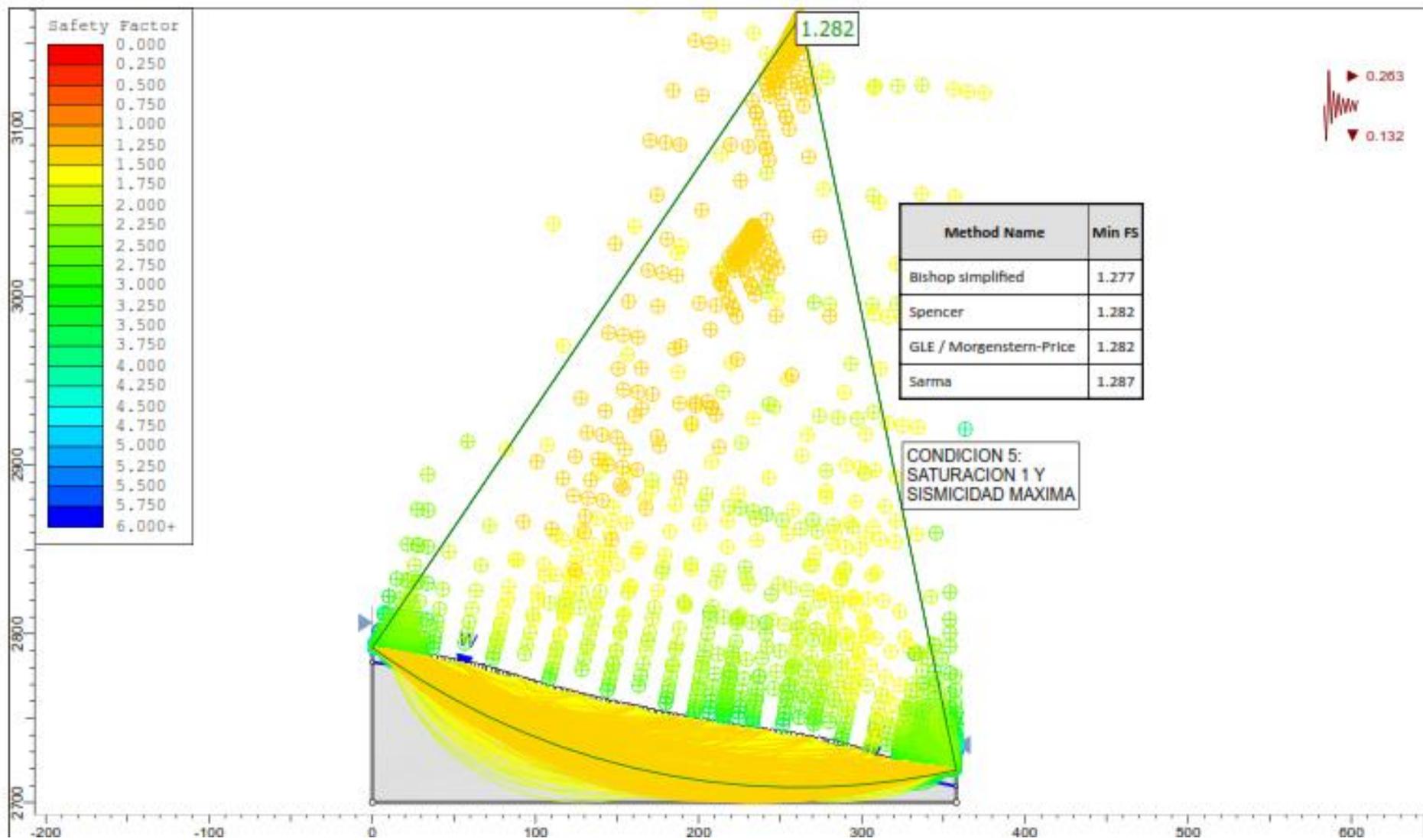


Figura N° 33: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-06.

Estación N° 4

Se encuentra ubicada al SE del distrito de Jesús, deslizamiento que está compuesto de cuatro grandes escarpas que se unen para formar una quebrada. El material está compuesto de gravas y bloques dentro de una matriz de un depósito cuaternario tipo coluvio-aluvial; el eje principal presenta una dirección NW y la pendiente del deslizamiento es de 75. (Ver anexo 1: Dz-07).

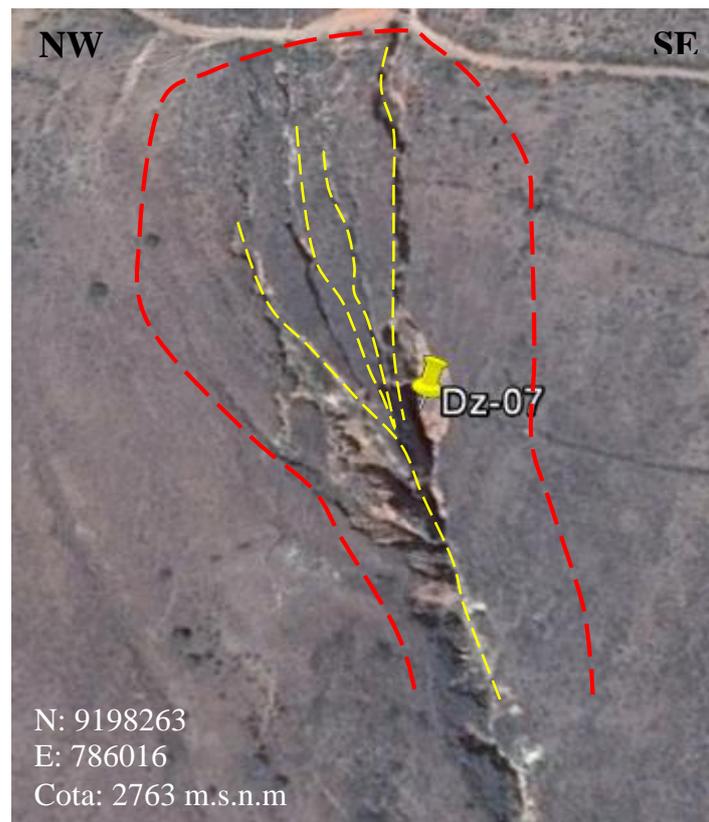


Figura N° 34: Imagen satelital del deslizamiento Dz-07 en la estación N°4, el material de composición presenta gravas, bloques grandes dentro de una matriz de arena y finos (depósito cuaternario tipo coluvio-aluvial); el eje principal del deslizamiento presenta una dirección NW. Fuente: (Google earth, 2017)



Foto N° 14: A. Vista frontal del deslizamiento N° 7. B. Material cuaternario tipo coluvio-aluvial que conforma al deslizamiento N° 7.

Tabla N° 25: Matriz de datos del deslizamiento N° 7.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-07	Coordenada Norte	9198263	Coordenada Este	786016	Cota	2763 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
52	65	168	139	18	20	217	170
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
		x					x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
x							
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta			
Compuesto		x		Media		x	
Múltiple				Baja			
Sencillo							
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
						x	

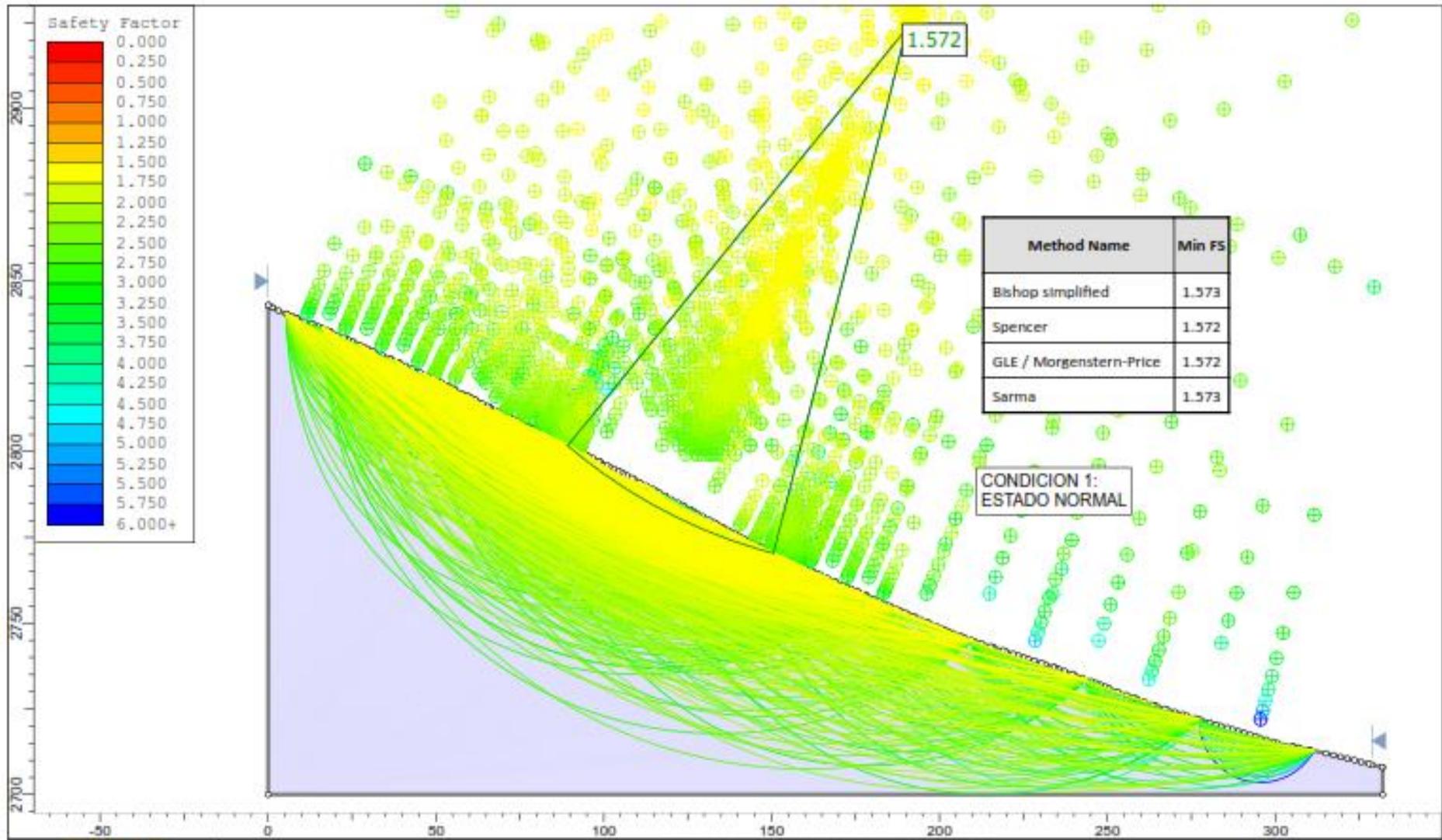


Figura N° 35: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 07.

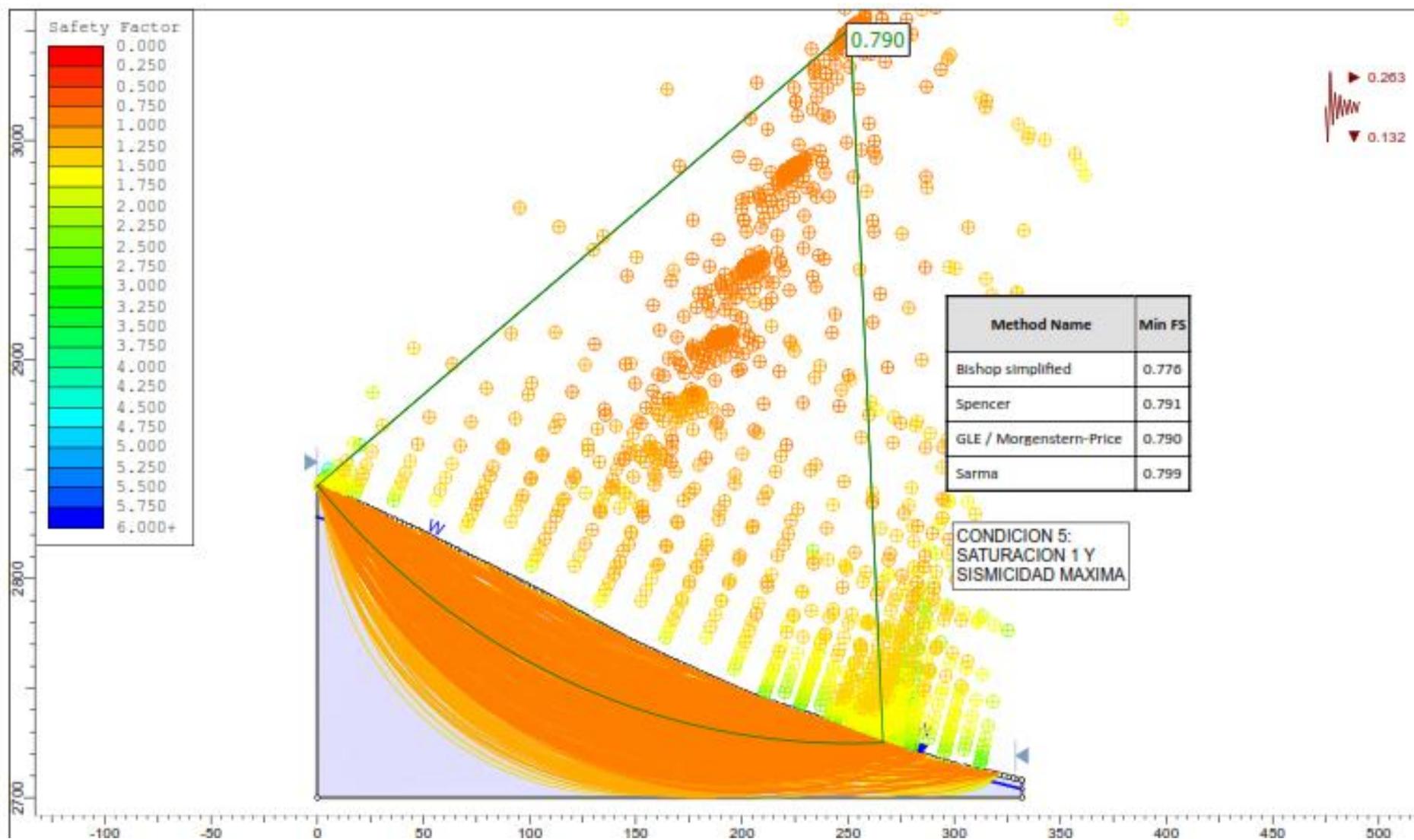


Figura N° 36: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-07.

Estación N° 5

Se ubican dos deslizamientos, la estación se ubica en la quebrada llamada el Chilco, en épocas de lluvias intensas se reactivan debido a que el material se encuentra suelto y está ubicado en depósitos del tipo coluvio-aluvial; por otro lado en la parte alta del deslizamiento Dz-08 (corona) se encuentran filtraciones constantes de agua. El eje principal del Dz-08 está en dirección SW y el Dz-09 en dirección NE.

Se ha clasificado estos deslizamientos como de importancia alta debido a que presentan antecedentes recientes de reactivación y de daños tanto a la infraestructura como a cultivos, debido a que este deslizamiento ha llegado a interrumpir el acceso principal entre Cajamarca-Jesús, pues aunque este se halla alejado del poblado, la quebrada actúa como cono de deyección para el material deslizado que ya antes ha tratado de ser estabilizado sin mucho éxito. (Ver anexo 1: Dz-08 y Dz-09).



Figura N° 37: Imagen satelital del Dz-08 y Dz-09 en la estación N° 5, el eje principal del Dz-08 está en dirección SW y del Dz-09 en dirección NE; ambos se encuentran sobre depósitos coluvio-aluviales.

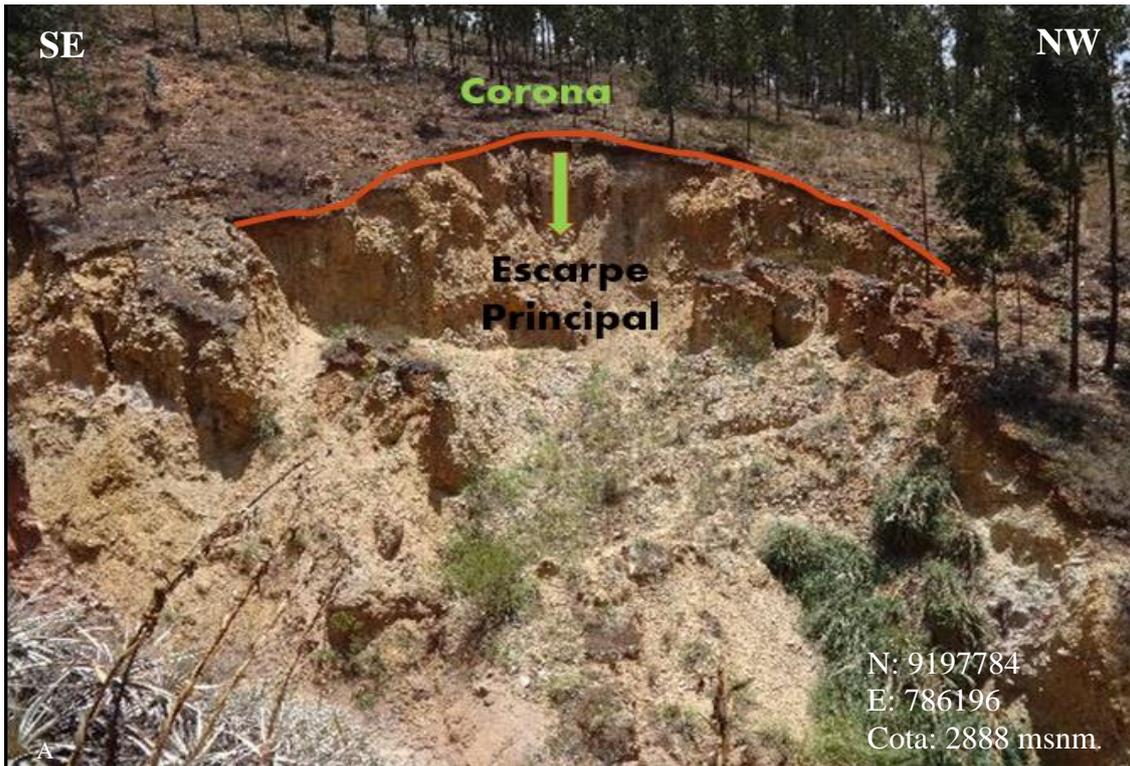


Foto N° 15: A. Vista frontal del deslizamiento N° 8, donde se observa la escarpa principal. B. Vista frontal del deslizamiento N° 9, donde se observa el material no compactado. C. Quebrada que actúa como cono de deyección que conduce el material deslizado hacia la carretera que va de Cajamarca hacia el distrito de Jesús.

Tabla N° 26: Matriz de datos del deslizamiento N° 8.

DESLIZAMIENTO							
Codigo	Dz-08	Coordenada Norte	9197784	Coordenada Este	786196	Cota	2888 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
69	94	52	62	23	28	102	60
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
x							x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo	x	
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
		x					
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto		x		Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo							
ANGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
			x				

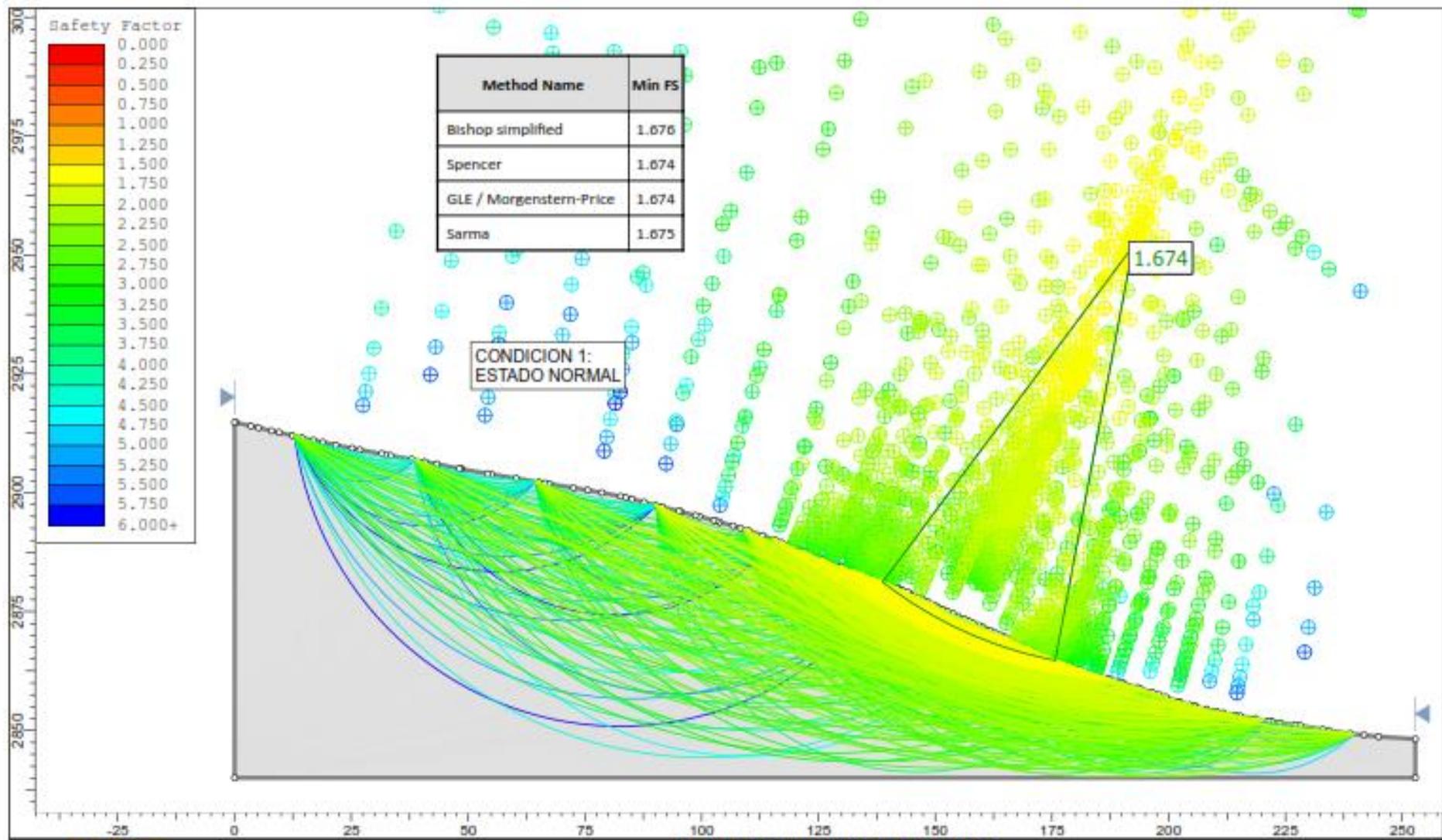


Figura N° 38: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 08.

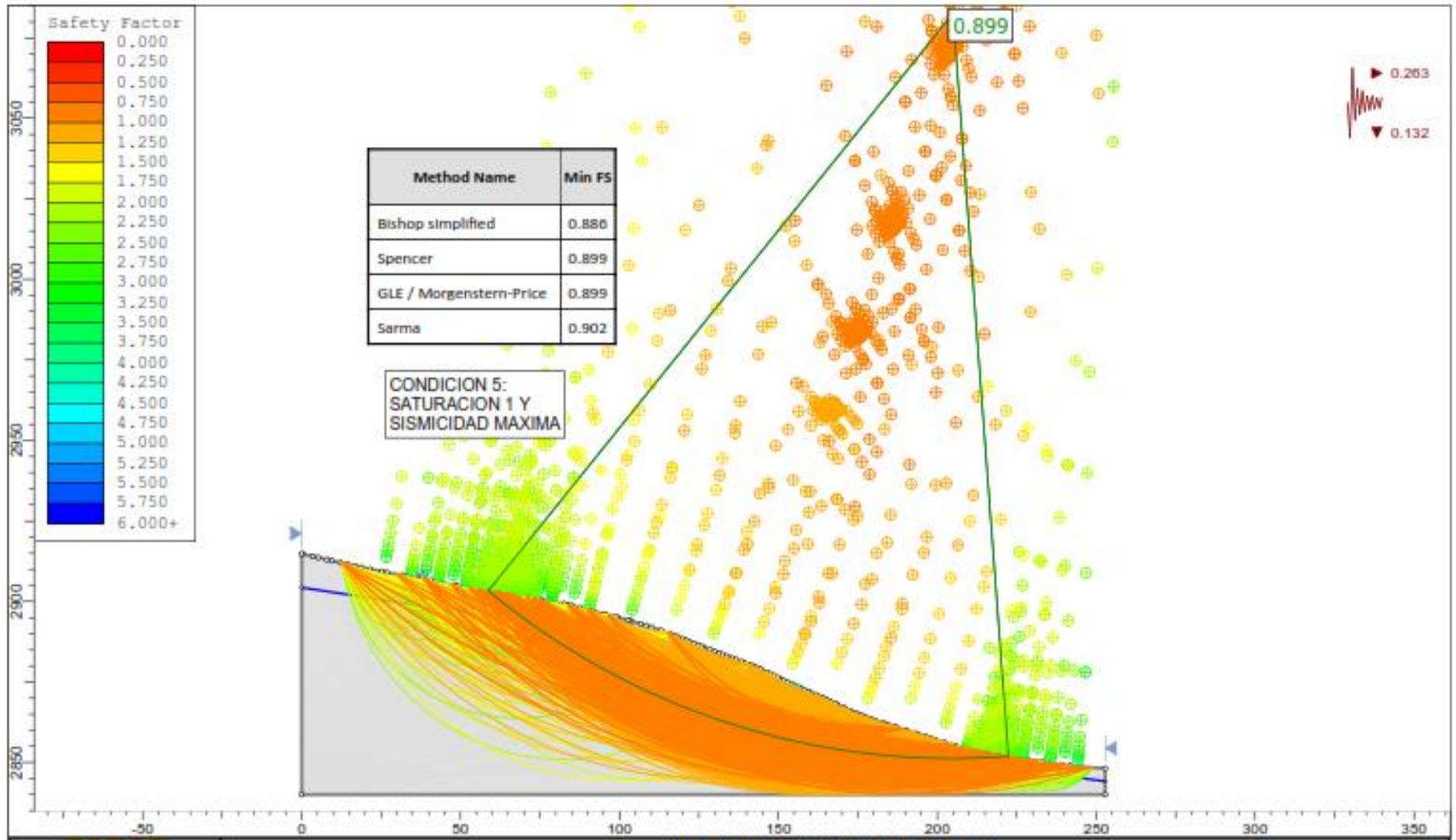


Figura N° 39: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-08.

Tabla N° 27: Matriz de datos del deslizamiento N° 9.

DESLIZAMIENTO							
Código	Dz-09	Coordenada Norte	9197862	Coordenada Este	786133	Cota	2878 m.s.n.m.
DIMENSIONES (m.)							
Ancho de la masa desplazada (Wd)	Ancho de la superficie de falla (Wr)	Longitud de la masa desplazada (Ld)	Longitud de la superficie de falla (Lr)	Prof. De la masa desplazada (Dd)	Prof. De la superficie de falla (Dr)	Longitud total (L)	Longitud de la línea central (Lc)
38	50	43	38	11	15	61	52
MOVIMIENTO							
TIPO				MATERIAL			
Deslizamiento rotacional		Deslizamiento traslacional		Roca	Detritos	Suelo	Depósito
		x					x
CAUSAS DEL MOVIMIENTO							
C	EVENTO			D	ESTADO DE LA ACTIVIDAD		
	Lluvias			x	Activo		
x	Gravedad				Reactivo		
	Vibración artificial (explosiones, sismicidad, otro)			x	Suspendido		
	Minería				Inactivo		
	Socavación del pie del talud por corriente de agua				Dormido		
	Excavación del pie del talud				Abandonado		
	Carga en la corona				Estabilizado		
	Erosión subterránea				REPETICION		
	Irrigación				Progresivo		
	Mantenimiento deficiente sistema de drenaje				Retrogresivo		
	Escape de aguas de tubería				Ampliándose		
	Material meteorizado				Alargándose		
	Material fisurado o agrietado				Confinado		
	Deforestación o ausencia de vegetación				Disminuyendo		
C: CONDICIONANTE				D: DETONANTE			
HUMEDAD							
Seco		Húmedo		Mojado		Muy mojado	
				x			
ESTILO DEL EVENTO				IMPORTANCIA			
Complejo				Alta		x	
Compuesto				Media			
Múltiple				Baja			
Sencillo		x					
ÁNGULO DE REPOSO							
Arena fina < 35°			Arena gruesa 35°-45°			Grava y bloques >46°	
			x				

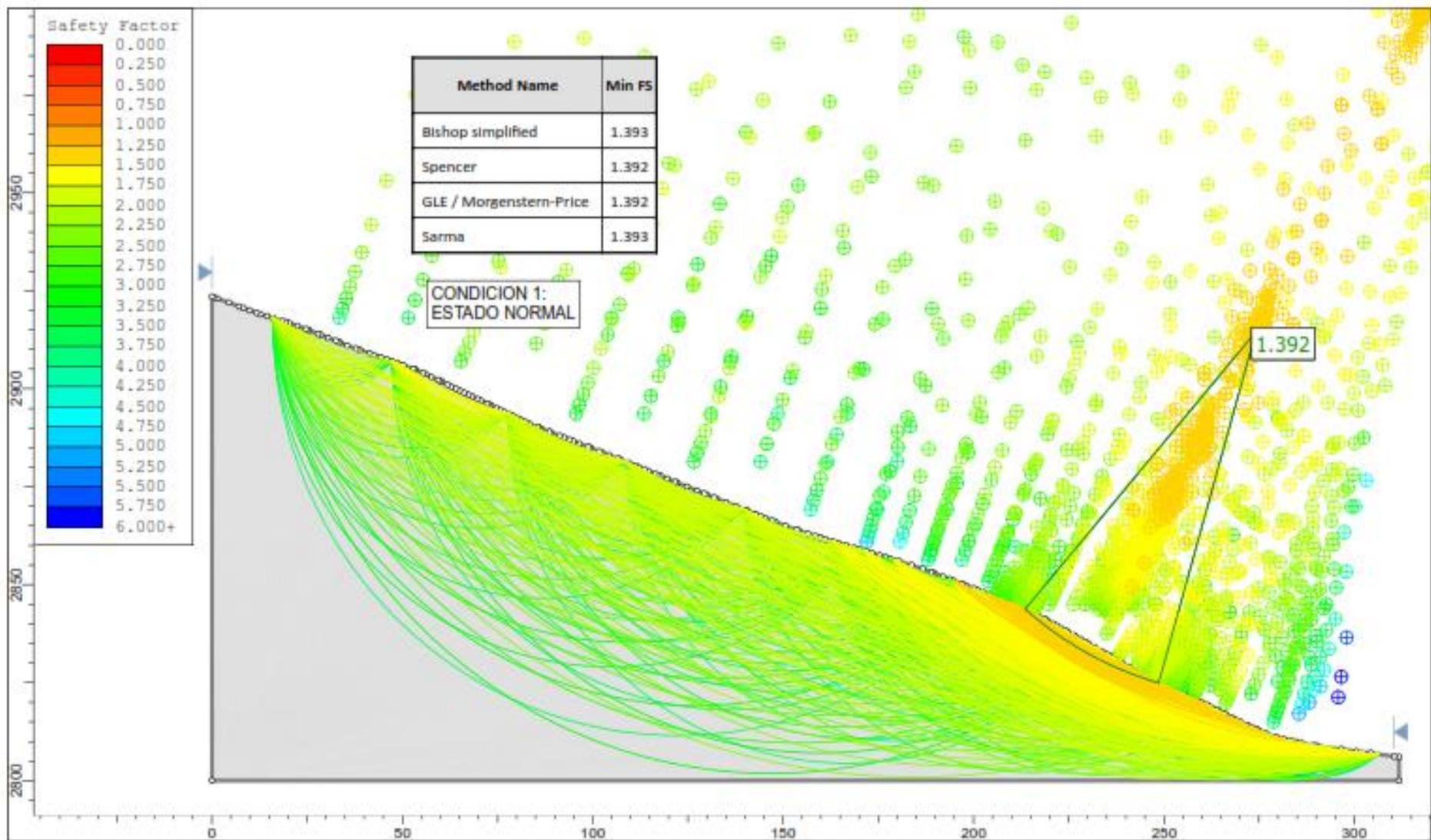


Figura N° 40: Factor de Seguridad (FS) en condiciones normales (sin agua ni sismicidad) de la ladera donde hallamos al Dz- 09.

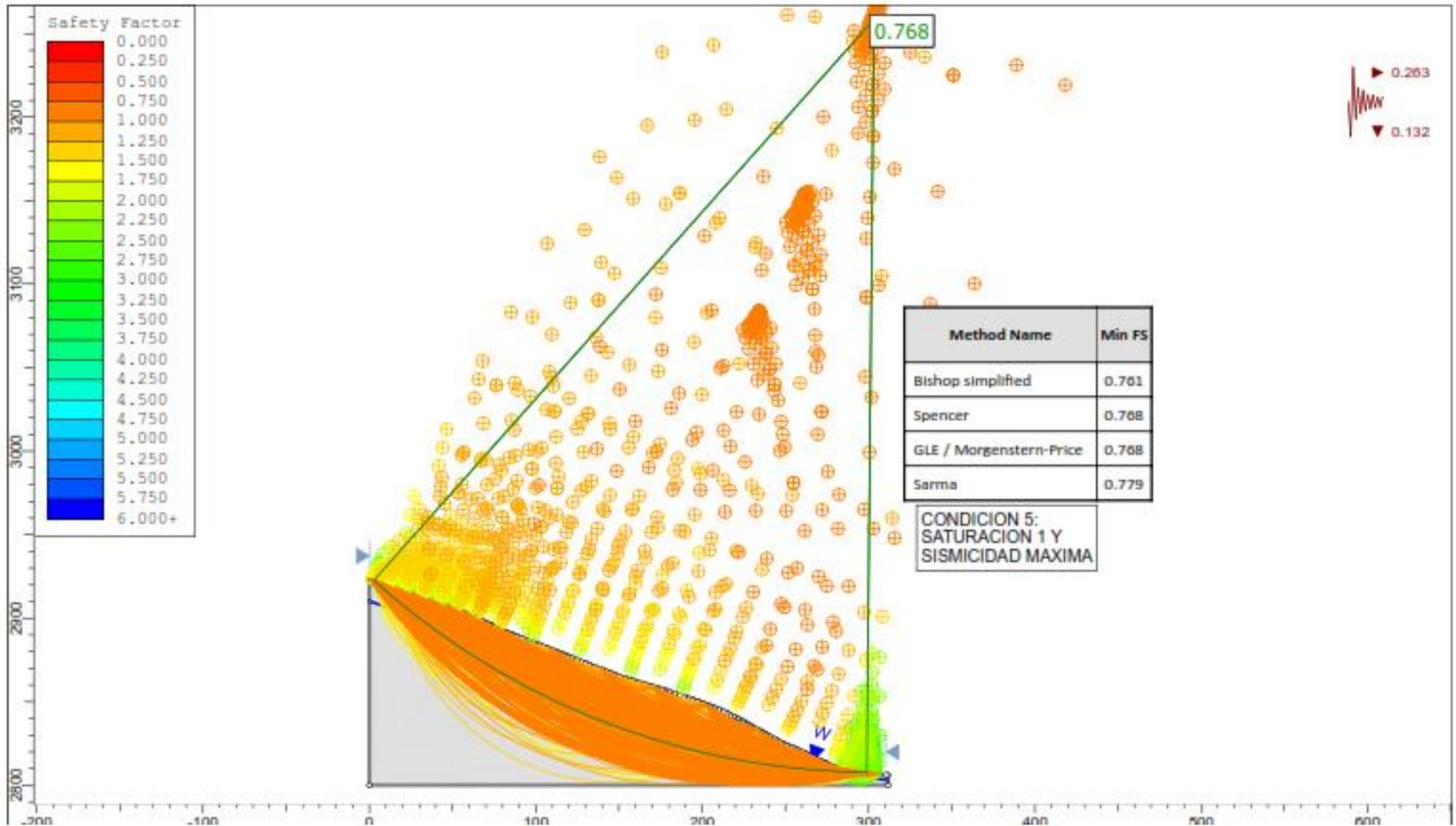


Figura N° 41: Factor de Seguridad (FS) bajo la condición cinco (saturación media y sismicidad máxima) de la ladera donde se halla al Dz-09.

Tabla N°28: Cuadro resumen de los parámetros característicos del material que compone a cada deslizamiento.

RESUMEN												
CODIGO DE DeESLIZAMIEN TO	NORTE	ESTE	COT A (m.s.n .m.)	MATERI AL	DEN.SECA	DEN.SAT	PORC ENTA JE %.	C	(ϕ)	(α)	(σ_t)	(σ_c)
Dz-01	9198632	789825	2556	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-02	9198501	790153	2567	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-03	9198436	790282	2564	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-04	9197856	790418	2501	Qh-al	2000 Kg/m3	2400 Kg/m3	20 %	10 KPa	36°	75.446°	0.5KPa	39.252 KPa
Dz-05	9196782	788526	2768	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-06	9198930	788654	2539	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	26.32%	2 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-07	9198263	786016	2763	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	26.32%	2 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-08	9197784	786196	2888	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa
Dz-09	9197862	786133	2878	Qh-Co/al	1800 Kg/m3	2300 Kg/m3	27.78%	1 KPa	35°	74.838°	0 KPa	3.842 KPa

En el cuadro observamos los parámetros característicos del material que compone a cada deslizamiento, estos parámetros fueron necesarios para ser ingresados en Slide y Calcular los factores de Seguridad. Encontramos la densidad seca, densidad saturada, porcentaje de humedad, cohesión, fricción, tensiones y ángulo de rozamiento.

CUADRO RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS PARA CADA DESLIZAMIENTO SEGÚN LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN SLIDE

Tabla N° 29: Resumen de los factores de Seguridad obtenidos para cada deslizamiento según los métodos usados en el software Slide.

PERFIL	CONDICION	BISHOP	GLE/M-P	SPENCER	SARMA	PROMEDIO
Deslizamiento 01 (Perfil 1-1')	ESTADO NORMAL	1.091	1.09	1.09	1.09	1.090
	SATURACION 1	1.067	1.073	1.071	1.083	1.074
	SATURACION 2	0.435	0.439	0.439	0.456	0.442
	SISMICIDAD MAXIMA	0.695	0.694	0.694	0.694	0.694
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.685	0.701	0.7	0.712	0.700
Deslizamiento 02 (Perfil 2-2')	ESTADO NORMAL	1.126	1.125	1.125	1.126	1.126
	SATURACION 1	0.836	0.84	0.841	0.851	0.842
	SATURACION 2	0.462	0.465	0.465	0.484	0.469
	SISMICIDAD MAXIMA	0.714	0.716	0.715	0.715	0.715
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.536	0.56	0.556	0.567	0.555
Deslizamiento 03 (Perfil 3-3')	ESTADO NORMAL	1.818	1.816	1.816	1.818	1.817
	SATURACION 1	1.664	1.665	1.663	1.666	1.665
	SATURACION 2	0.94	0.942	0.942	0.972	0.949
	SISMICIDAD MAXIMA	1.058	1.058	1.058	1.059	1.058
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.939	0.949	0.947	0.949	0.946
Deslizamiento 04 (Perfil 4-4')	ESTADO NORMAL	1.084	1.08	1.08	1.081	1.081
	SATURACION 1	0.914	0.92	0.922	0.934	0.923
	SATURACION 2	0.44	0.456	0.455	0.538	0.472
	SISMICIDAD MAXIMA	0.721	0.721	0.721	0.723	0.722
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.608	0.629	0.627	0.638	0.626
Deslizamiento 05 (Perfil 5-5')	ESTADO NORMAL	1.803	1.801	1.801	1.802	1.802
	SATURACION 1	1.437	1.439	1.438	1.445	1.440
	SATURACION 2	0.931	0.934	0.933	0.964	0.941
	SISMICIDAD MAXIMA	1.052	1.053	1.053	1.053	1.053
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.852	0.86	0.862	0.863	0.859

PERFIL	CONDICION	BISHOP	GLE/M-P	SPENCER	SARMA	PROMEDIO
Deslizamiento 06 (Perfil 6- 6')	ESTADO NORMAL	2.82	2.818	2.818	2.82	2.819
	SATURACION 1	2.635	2.639	2.635	2.642	2.638
	SATURACION 2	1.622	1.622	1.623	1.724	1.648
	SISMICIDAD MAXIMA	1.475	1.475	1.476	1.476	1.476
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	1.277	1.282	1.282	1.287	1.282
Deslizamiento 07 (Perfil 7- 7')	ESTADO NORMAL	1.573	1.572	1.572	1.573	1.573
	SATURACION 1	1.257	1.263	1.266	1.269	1.264
	SATURACION 2	0.791	0.791	0.791	0.808	0.795
	SISMICIDAD MAXIMA	0.96	0.962	0.961	0.961	0.961
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.776	0.791	0.79	0.799	0.789
Deslizamiento 08 (Perfil 8- 8')	ESTADO NORMAL	1.676	1.674	1.674	1.675	1.675
	SATURACION 1	1.511	1.513	1.512	1.514	1.513
	SATURACION 2	0.847	0.847	0.848	0.872	0.854
	SISMICIDAD MAXIMA	0.996	0.995	0.996	0.995	0.996
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.886	0.889	0.889	0.902	0.892
Deslizamiento 09 (Perfil 9- 9')	ESTADO NORMAL	1.393	1.392	1.392	1.393	1.393
	SATURACION 1	1.277	1.281	1.282	1.285	1.281
	SATURACION 2	0.657	0.658	0.658	0.68	0.663
	SISMICIDAD MAXIMA	0.859	0.858	0.859	0.859	0.859
	SATURACION 1 Y SISMICIDAD MAXIMA	0.761	0.768	0.768	0.779	0.769

LEYENDA				
Inestable absoluto	Inestable absoluto	Estable relativo	Estable temporalmente	Estable permanentemente
FS < 0.5	FS 0.5 – 1.0	FS 1.0-1.3	FS 1.3-1.5	FS 1.5-3.0

5.4.6 Contrastación con la Hipótesis

La clasificación de las unidades morfogénicas; escarpas, laderas, lomadas y planicies, nos permitió observar que todos los deslizamientos se ubican en laderas (pendiente entre 20-50°); y sobre depósitos tipo coluvio-aluviales, que presentan material que va desde cantos, gravas y guijarros hasta arenas gruesas y finas, arcillas y finos; hechos que actúan como variables condicionantes del comportamiento geodinámico de los deslizamientos; sin embargo se confirmó que los factores detonantes, serían la sismicidad y las precipitaciones, al crearse cinco condiciones de análisis de factor de seguridad, (condiciones normales, saturación media, saturación total, sismicidad máxima y saturación media y sismicidad máxima); en condiciones normales, es decir excluyendo sismicidad y precipitaciones, cinco deslizamientos presentaron factor de seguridad sobre 1.5, lo que se consideraría realmente estable, sin embargo los otros 4 aunque no presentaron factores de seguridad bajo 1, si se hallaron prácticamente en el límite; y en condición de sismicidad máxima y saturación media todas las zonas fallarían y presentarían deslizamiento; probando con esto que las variables detonantes de deslizamientos en la zona serían la precipitación y sismicidad, y las condicionantes, la ubicación de las zonas geodinámicamente críticas sobre depósitos tipo coluvio-aluviales, confirmándose la hipótesis formulada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Geodinámicamente las zonas inestables en los alrededores de Jesús se determina que los factores detonantes de las zonas críticas, deslizamientos, son la sismicidad y las precipitaciones, y en condición de saturación media, saturación total, sismicidad máxima y/ o saturación media y sismicidad máxima todas las zonas críticas fallaron en alguno en los escenarios de saturación total y sismicidad máxima.
- El cartografiado geológico-estructural determinó que los deslizamientos geológicamente se hallan sobre depósitos tipo coluvio-aluviales, geomorfológicamente sobre laderas y lomadas, estructuralmente no presenta más que pliegues y fracturas muy localizadas, pero que no afectan a nivel local.
- En las precipitaciones se observa que a partir del 2011 aumentaron de forma notable los mm de precipitaciones y que en los años posteriores en los meses de diciembre a abril (meses de intensas lluvias), en todos los años se sobrepasó el nivel referencial de precipitaciones, lo que indica que los las zonas críticas de deslizamientos, fallarían.
- Se analizó la sismicidad con sus coeficientes de aceleración vertical y coeficiente de aceleración horizontal , obteniendo un resultado de 0.132 y 0.263 respectivamente.
- Se determinó cinco zonas geodinámicamente críticas, conteniendo en ellas a nueve deslizamientos en total, escogiendo solo los deslizamientos de grandes dimensiones, aquellos que registraban en su data histórica deslizamientos anteriores y los que presentaban peligro directo a la población e infraestructura.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis más exhaustivo en el Dz-05, debido a que este se analizó respecto a precipitaciones y sismicidad, sin embargo presenta una zona pantanosa permanente en la cabecera de la ladera, hecho que contribuye a aumentar la probabilidad de deslizamiento, aunque no se sabe en qué magnitud .
- Se recomienda realizar un levantamiento topográfico a detalle (1: 2.500), esta información servirá como base para estudios a detalle posteriores.
- Proponer puntos donde se pueda monitorear los movimientos de terrenos y de esta manera predecir posibles deslizamientos antes de su ocurrencia.
- Realizar un estudio de vulnerabilidad de la zona ante la ocurrencia de peligros geológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bobrowsky, (2008). Manual de Derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes. Editorial Highland. Canadá

Burrough, (1992). Modelo Digital de Elevaciones, Editorial Chiao. La Plata-Argentina.

Cruden & Varnes. (1996). Fundamentos sobre deslizamientos. Washington, D.C.-Estados Unidos. National Academy of Sciences.

Dávila, (2011). Diccionario Geológico. Lima-Perú. INGEMMET.

Fernández, (2001). Análisis de la Susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules Granada., Saint George-Granada. Universidad de Granada.

Fondo Perú- Alemania, (2007). Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Jesús. Cajamarca-Perú. Asociación de Municipalidades del corredor económico Crisnejas.

Gonzales, (2004). Ingeniería Geológica. Editorial Diamante. Lima-Perú.

Herrera, (2003). Introducción a la Estabilidad de Taludes. Cantabria-España. Universidad Complutense de Madrid.

Medina, (1991). Fenómenos Geodinámicos. Lima-Perú. Soluciones Prácticas ITDG.

Miller y Laflamme (1958). Modelo Digital de Elevaciones. Canterbury-Reino Unido. Curso MDT.

Villón, (2002). Hidrología. Editorial Diamante. Lima-Perú.

Reyes, (1980). Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba. Lima-Perú.

Rodríguez, et al. (2003). Mapa de Peligros de la Ciudad de Cajamarca. Cajamarca-Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.

Suárez, (2009). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaranga-Colombia. Universidad Industrial de Santander.

Vidal, (2014). Las ocho Regiones Naturales .del Perú. Lima-Perú. IBGE Saberes y Prácticas territoriales.

Zavala, (2008). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes. Lima-Perú. Instituto Geofísico del Perú.

Zavala, R. y Barrantes, R (2007). Zonas críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca. Cajamarca-Perú. INGEMMET.

-

ANEXOS I:
ANALISIS DE LOS
DESLIZAMIENTOS

ANEXOS II:
PLANOS