



PERÚ

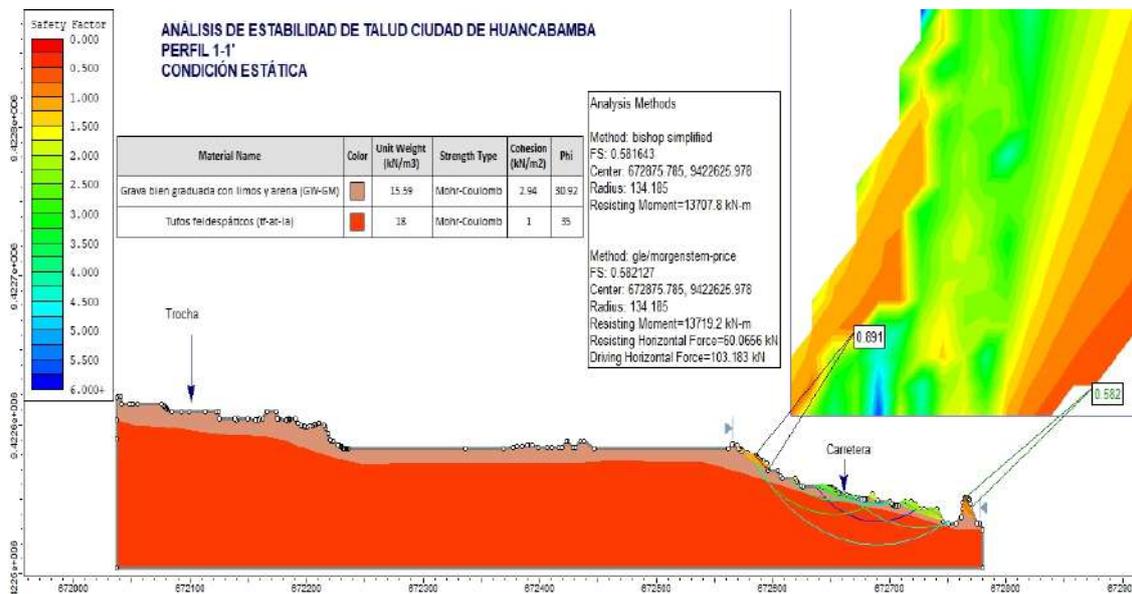
Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



INFORME

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN CONDICIONES ESTÁTICAS Y PSEUDOESTÁTICAS DE LA CIUDAD DE HUANCABAMBA, PROVINCIA HUANCABAMBA, REGIÓN PIURA



PROYECTO

Convenio 166-2017-FONDECYT

“EVALUACIÓN GEODINÁMICA, GEOFÍSICA Y GEOLÓGICA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA QUE AFECTAN LA SEGURIDAD FÍSICA DE LA CIUDAD HUANCABAMBA (PIURA)”



Elaborado por:

Ing. Socorro del Pilar Vivanco López

Editado por:

MSc. Wendy Quiroz Sifuentes

Revisado por:

Dr. Juan Carlos Gómez Ávalos

Coordinador General del Proyecto:

Dr. Juan Carlos Villegas Lanza

Resumen

En el marco del proyecto “Evaluación Geodinámica, Geofísica y Geología de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)” Convenio 166-2017-FONDECYT, el cual involucró el “Análisis de Estabilidad de Talud de la ladera” de la ciudad en mención. Este análisis se realizó en suelos de espesor promedio de 40 m y en condiciones parcialmente saturadas, en base a criterios de rotura (Mohr Coulomb y Hoek-Brown), métodos de análisis (Bishop Simplificado, GLE/Morgenstern-Price y Janbú Simplificado) y mediante la aplicación de una herramienta de modelamiento computacional Slide v6.0.

En el análisis de estabilidad se emplearon las características físicas principales como son: pendiente (20% - 70%), tipo de suelos: Grava limosa (GM), grava bien graduada con limo y arena (GW-GM), arena limosa (SM) y limos inorgánicos de alta plasticidad (MH), así como, presencia de suelos saturados a partir entre los 20 y 40 m de profundidad.

Los resultados obtenidos en los cuatro perfiles distribuidos en la ladera de los cerros Huancabamba y Colorado han permitido estimar que se trata de laderas **INESTABLES**, con factores de seguridad menores a 1.3 en condiciones estáticas para el perfil 1-1', mientras que, en condiciones pseudoestáticas (aceleración horizontal del suelo =0.12) los perfiles 2-2', 3-3' y 4-4' presentan factores de seguridad menores o iguales a 1.1. Además, la probable superficie de falla de rotura oscila para el perfil 1-1 (2 m - 30 m de profundidad), perfil 2-2' (2 m - 60 m de profundidad), perfil 3-3' (1 m - 30 m de profundidad) y perfil 4-4' (2 m - 22 m de profundidad), proyectadas en suelos tipo limos inorgánicos de alta plasticidad (MH) de origen volcánico.

Contenido

1.- INTRODUCCIÓN	6
2.- OBJETIVO	7
3.- ÁREA DE ESTUDIO	7
4.- METODOLOGÍA Y DATOS GEOTÉCNICOS-GEOFÍSICOS	9
4.1 Datos geotécnicos	13
4.2 Aceleración máxima horizontal	14
5. RESULTADOS	16
6.- DISCUSIÓN	25
7.- CONCLUSIONES.....	25
8.- RECOMENDACIONES.....	27
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación del área de estudio (ciudad de Huancabamba), provincia de Huancabamba y región Piura	8
Figura 2: Superficie en 3D a generada a partir de curvas de nivel, las secciones se indican con las líneas en color rojo	9
Figura 4: Metodología para realizar el Análisis de Estabilidad de Talud en la ciudad de Huancabamba y alrededores	10
Figura 3: Fuerzas que actúan sobre la superficie de equilibrio para determinar el Factor de seguridad, Adaptado de Revista CIVILIZATE N° 7 (2015) y Alonso 2005	11
Figura 5: Zonificación Sísmica del Perú. E030 Diseño Sismorresistente	15
Figura 6: Análisis de estabilidad de talud Perfil 1-1' en condición estática, se determinaron dos zonas muy inestables con factor de seguridad FS=1.008 y 0.582	17
Figura 7: Análisis de estabilidad de talud Perfil 1-1 en condición pseudoestática se determinaron dos zonas muy inestables con factor de seguridad FS=0.360 y 0.153	18
Figura 8: Análisis de estabilidad de talud Perfil 2-2' en condición estática con factor de seguridad FS=1.743	19
Figura 9: Análisis de estabilidad de talud Perfil 2-2' en condición pseudoestática presenta una zona con factor de seguridad FS= 1.186 y otras tres entre 0.677 y 0.873	20
Figura 10: Análisis de estabilidad de talud Perfil 3-3' en condición estática se determinaron tres zonas con factor de seguridad FS=1.356, 1.262 y 0.787	21
Figura 11: Análisis de estabilidad de talud Perfil 3-3' en condición pseudoestática, se determinaron tres zonas muy inestables con factor de seguridad FS=1.109, 0.690 y 0.089	22
Figura 12: Análisis de estabilidad de talud Perfil 4-4' en condición estática, se determinaron dos zonas con factor de seguridad FS=1.393 y 0.793	23
Figura 13: Análisis de estabilidad de talud sección 4-4' en condición pseudoestática, se determinó una zona muy inestable con factor de seguridad FS=1.147	24

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Parámetros físicos y tipos de suelos (SUCS) existentes en la ciudad de Huancabamba	13
Cuadro 2: Perfil y profundidad de probable superficie de rotura	16
Cuadro 3: Análisis comparativo de resultados de Factor de Seguridad según método y condición	25
Cuadro 4: Análisis comparativo de resultados de Factor de Seguridad entre los tres métodos y en condición pseudoestática.....	25

Índice de Tablas

Tabla 1: Factor de zona en Perú	15
Tabla 2: Coeficientes de seguridad a emplear en análisis de estabilidad de talud.....	16

1. INTRODUCCIÓN

El presente análisis de estabilidad de talud en la ciudad de Huancabamba se desarrolló como parte del proyecto “EVALUACIÓN GEODINÁMICA, GEOFÍSICA Y GEOLOGÍA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA QUE AFECTAN LA SEGURIDAD FÍSICA DE LA CIUDAD HUANCABAMBA (PIURA)”. Convenio 166-2017-FONDECYT

El área de estudio se ubica entre los 1875 m.s.n.m. y 1970 m.s.n.m., y se extiende en ambos márgenes del río Huancabamba. El basamento y/o suelo está constituido por materiales de origen volcánico-sedimentario (aglomerados, lapilli, tufos, cenizas y/o areniscas tobáceas). Estos suelos son muy susceptibles a los deslizamientos, debido a que, generalmente son poco resistentes al presentar valores muy altos de relación de vacíos y porosidades, por ello, la mineralogía de estos suelos tiene gran influencia sobre sus características y su comportamiento mecánico.

El tipo de falla que se presenta depende del espesor, la pendiente inferior del manto de meteorización intensa y de la humedad existente en los suelos que conforman las laderas cuyos materiales geológicamente son diferentes.

En la ciudad de Huancabamba se delimitaron 4 perfiles denominados 1-1', 2-2', 3-3' y 4-4', los tres primeros se encuentran distribuidos en la ladera sobre la cual se asienta la ciudad de Huancabamba y sus anexos, en el caso del 4-4', éste se ubica en la margen izquierda de la quebrada Ungulo (cerro Colorado).

Para el análisis se emplearon los parámetros físicos obtenidos a partir de ensayos de mecánica de suelos y se realizó a través de una herramienta de modelamiento computacional. El resultado estimó que el valor del factor de seguridad es menor a 1.3, en condiciones estáticas para el Perfil 1-1' por ende se considera un talud **INESTABLE**, mientras que, los Perfiles 2-2', 3-3' y 4-4' son **INESTABLES** en condiciones pseudoestáticas (por presentar factores de seguridad menores a 1.1).

2. OBJETIVO

Evaluar la estabilidad de la ladera de la ciudad de Huancabamba, provincia Huancabamba, región Piura, en condiciones estáticas y pseudoestáticas con la finalidad de estimar los futuros planos de falla, información relevante para las autoridades regionales y locales en la toma de decisiones en cuanto a la planificación y ejecución de proyectos orientados a la gestión de riesgo de desastres.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Comprende al área urbana del distrito Huancabamba, ubicado al norte de la zona occidental del Perú en la provincia de Huancabamba y región Piura, a 214 km al este de la ciudad de Piura, en la coordenada UTM (Universal Transversal Mercator): 671711 E, 9420706 N, a 1936 m.s.n.m., (Punto referencial: plaza de armas de Huancabamba).

Esta área abarca 3200 ha (centro urbano y anexos rurales), en base a lo determinado en el cartografiado geológico-geodinámico que determinó las zonas de movimiento en masa (deslizamientos, reptación de suelo, entre otros), se seleccionaron cuatro secciones denominadas: 1-1', 2-2', 3-3' y 4-4', las cuales se indican en la Figura 01.

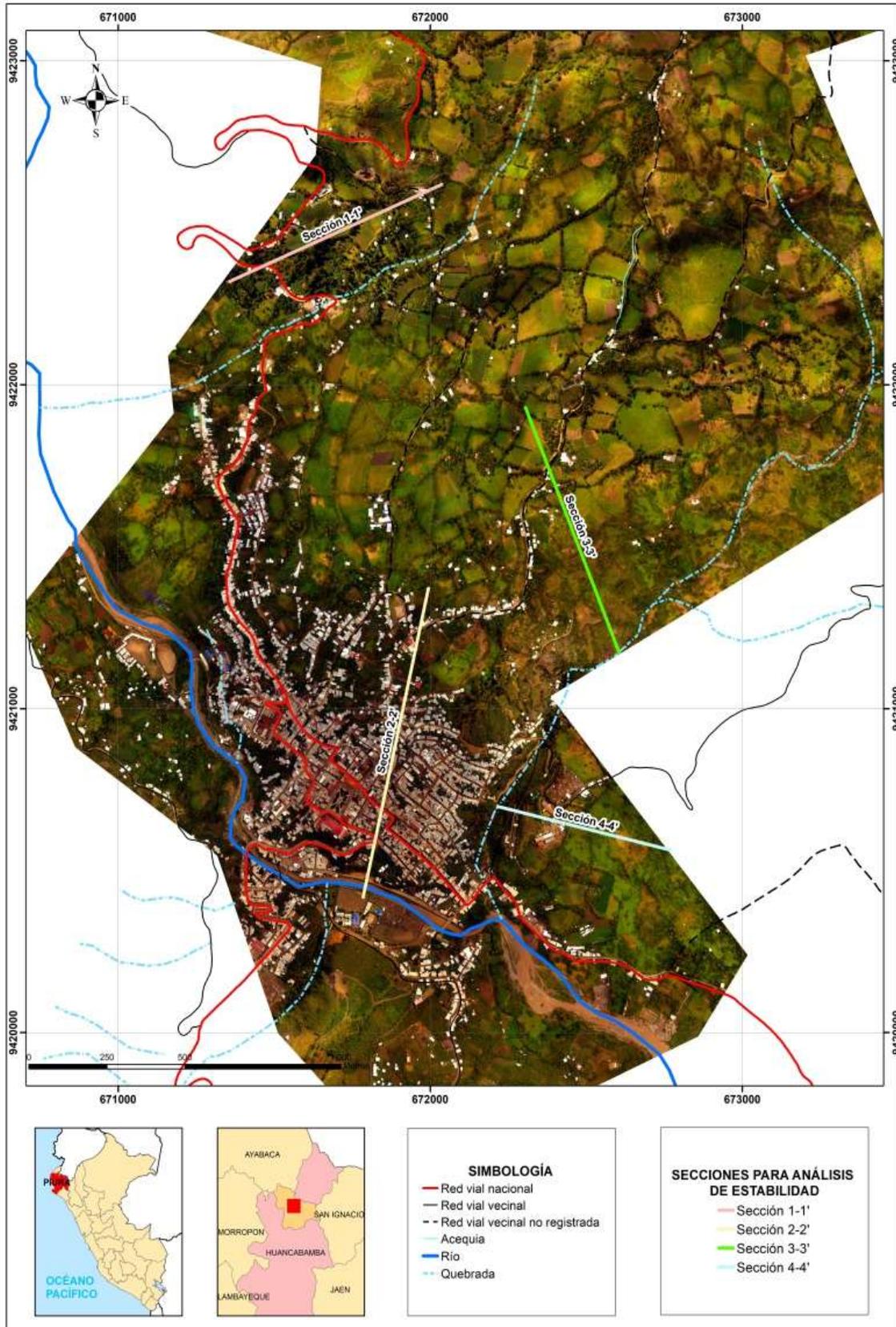


Figura 1: Ubicación del área de estudio (ciudad de Huancabamba), provincia de Huancabamba y región Piura

4. METODOLOGÍA Y DATOS GEOTÉCNICOS-GEOFÍSICOS

Se empleó la topografía de la zona de estudio (curvas de nivel), a partir de las cuales se elaboró una superficie del terreno en 3D. Luego, se ubicaron las cuatro secciones a trabajar (polilíneas) a escala 1:1000, Figura 02. En las secciones se delimitan los espesores de los diferentes tipos de materiales (roca y/o suelo) a profundidad.

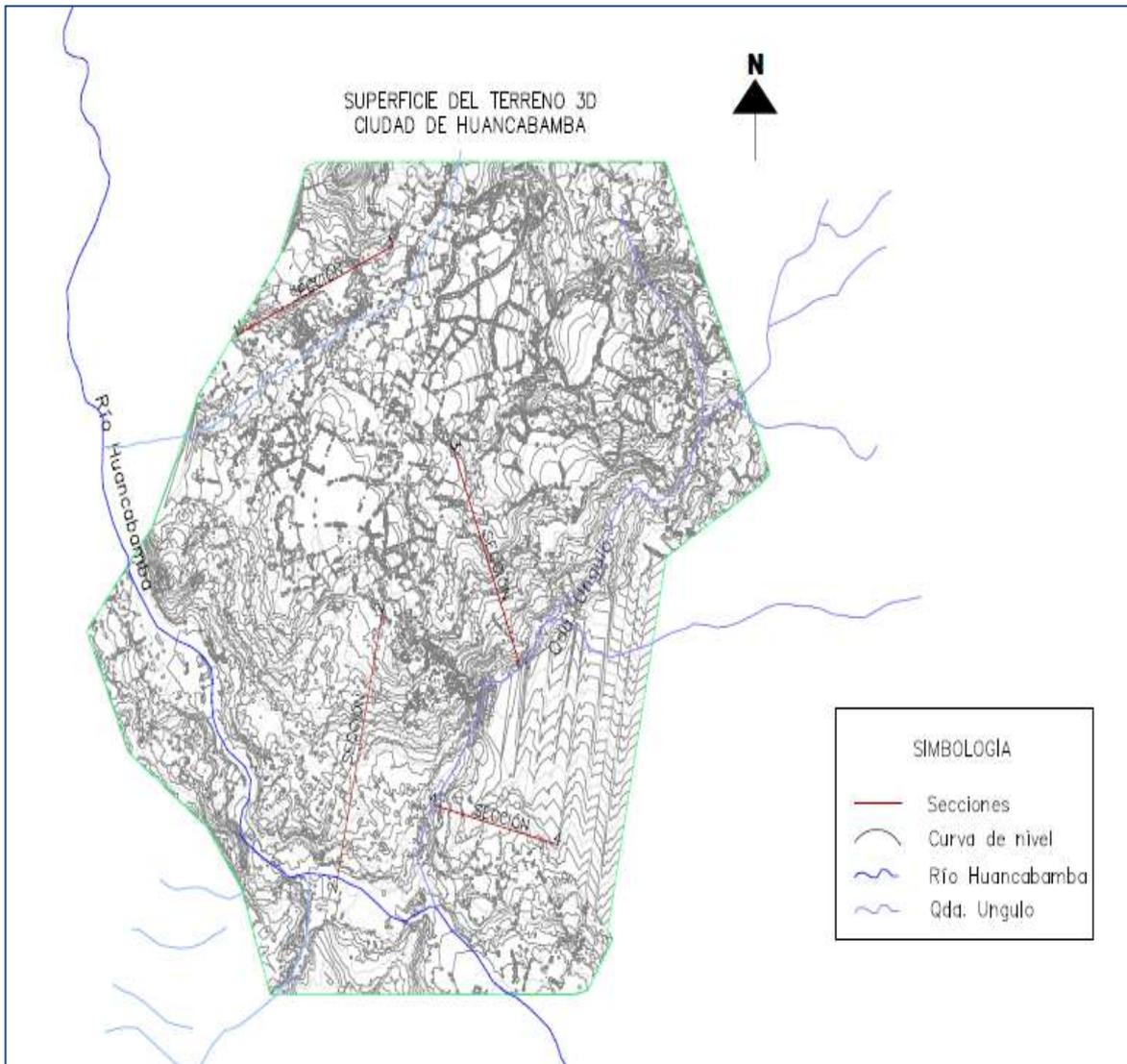


Figura 2: Superficie en 3D a generada a partir de curvas de nivel, las secciones se indican con las líneas en color rojo

Posteriormente, se extrajeron los perfiles del terreno a partir de las polilíneas (que representan las secciones). Finalmente, estos perfiles son empleados en el análisis de estabilidad de talud.

A continuación se describe la metodología del presente estudio, Figura 4.

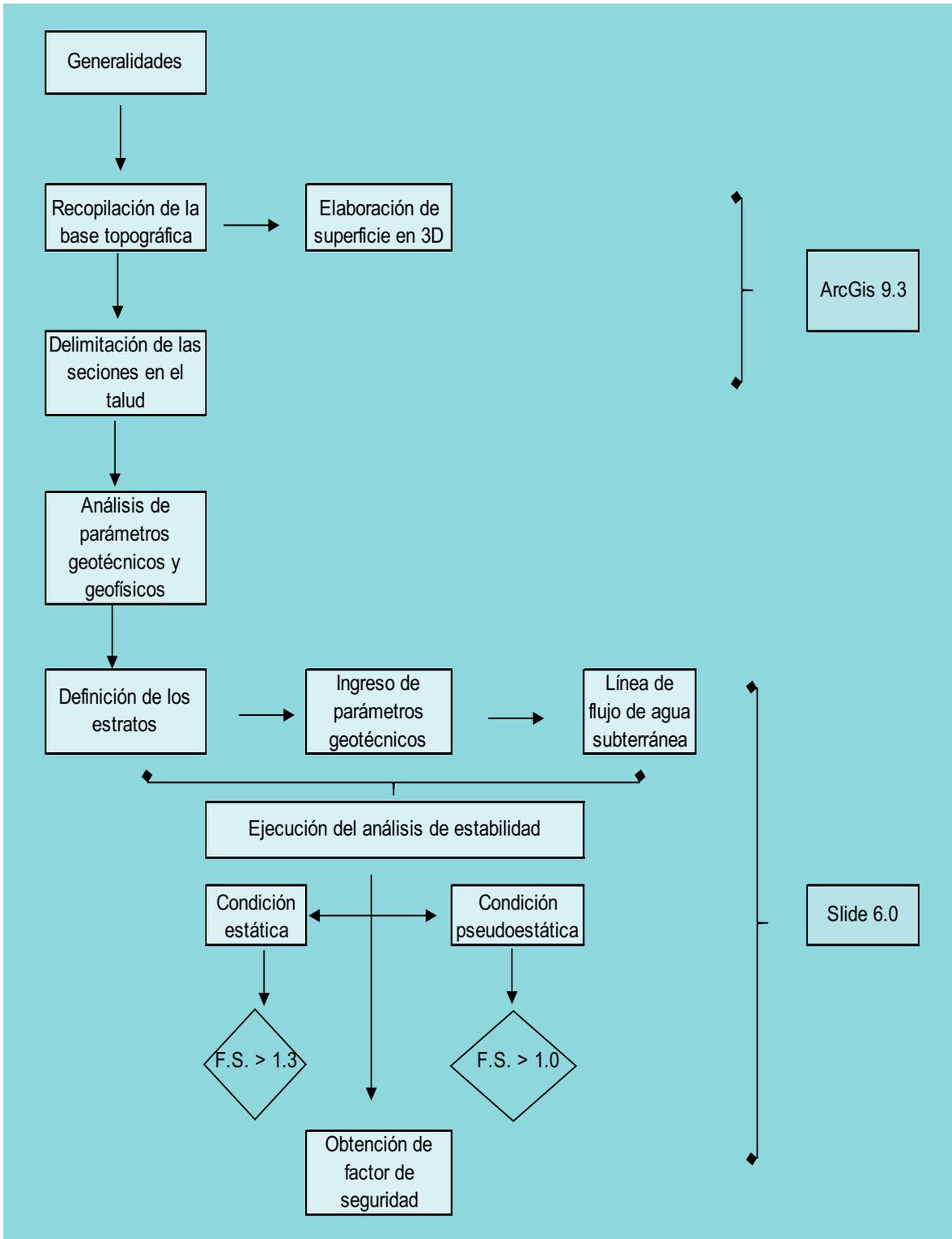


Figura 4: Metodología para realizar el Análisis de Estabilidad de Talud en la ciudad de Huancabamba y alrededores

El análisis de estabilidad de talud depende de la caracterización física y dinámica del subsuelo, como, geomorfología, geología, resultados de estudios de mecánica de suelos y/o geofísica. Además, es indispensable conocer algunos conceptos básicos como son:

a) Talud.- Superficie inclinada, constituida por macizo rocoso o suelo, que forma un ángulo con la horizontal. Según Gerscovich, 2013, se clasifican en:

a.1. Talud natural constituidos por suelos residuales, in situ, producto del intemperismo químico o físico sobre la roca madre. Estos taludes por lo general son propensos a la inestabilidad debido a las intervención de fuerzas gravitacionales.

a.2. Talud construido resulta de la intervención de hombre en la ejecución de cortes, excavaciones y terraplenes.

b) Criterio de rotura Mohr Coulomb.- Se produce cuando los materiales rompen debido a la combinación entre las tensiones efectivas y normales actuando en cualquier plano del suelo (Gonzales de Vallejo, 2003).

c) Criterio de rotura Hoek-Brown.- Se considera un criterio no lineal el cual se produce en macizos rocosos.

d) Fallas de taludes en suelos.- En la mayoría de éstos la geometría de ruptura es curva. En el caso del deslizamiento de pie del talud (casi circular) y si el deslizamiento es profundo (circular).

e) Método de análisis de equilibrio límite.- Permite determinar el equilibrio de una masa activa de suelo al asumir que la ruptura se produce a lo largo de un plano en el cual los elementos simultáneamente alcanzas el factor de seguridad FS=1.

f) Factor de seguridad.- Es la división entre las condiciones reales del talud y las condiciones que podrían producir una falla, Figura 3.

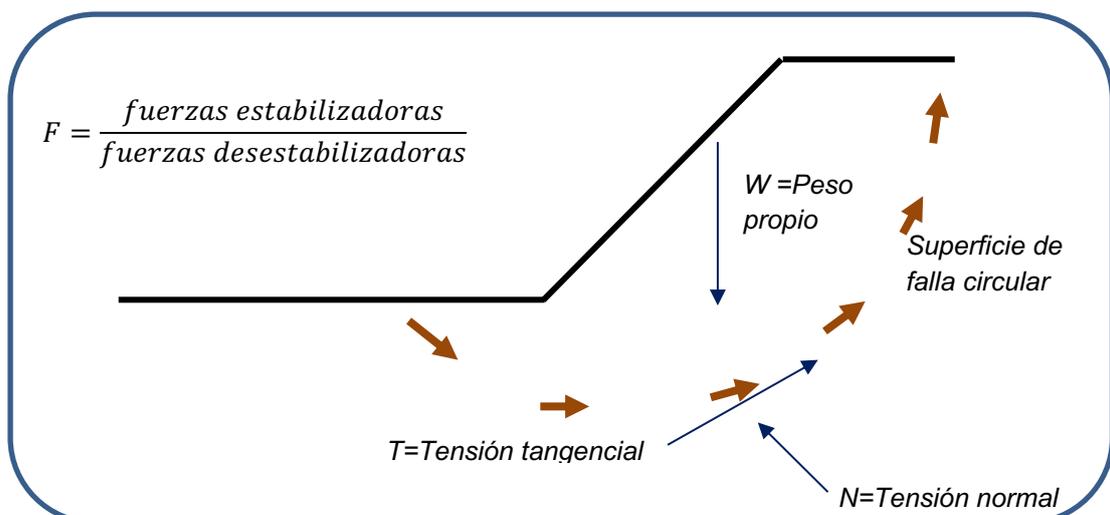


Figura 3: Fuerzas que actúan sobre la superficie de equilibrio para determinar el Factor de seguridad, Adaptado de Revista CIVILIZATE N° 7 (2015) y Alonso 2005

Para determinar la estabilidad de una masa de suelo se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento, esto a partir de la comparación de los esfuerzos que producen el deslizamiento y los que estabilizan o evitan.

Los métodos empleados en el análisis de estabilidad se basan en un planeamiento físico-matemático (Sanhueza et al, 2013), siendo, los más utilizados los de equilibrio de una masa potencialmente inestable y las fuerzas resistentes que se oponen a lo largo de una superficie de falla: Método de Dovelas que se clasifica en precisos (Morgenstern-Price, Spencer y Bishop Riguroso) y aproximados (Bishop Simplificado, Fellenius y Janbú).

En el caso de la ciudad de Huancabamba se consideró a Bishop Simplificado y Morgenstern-Price, tal como se describen:

a) Método de Bishop 1955

- Superficie de rotura circular
- Equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes con respecto al centro del círculo de rotura.

b) Método de Morgenstern-Price

- Las fuerzas cortantes y normales son constantes.
- Aplicado a cualquier geometría de falla y perfil del suelo.

Es importante resaltar que, en el análisis de estabilidad es necesario delimitar todos los estratos presentes en el talud, no se debe considerar que todo el suelo está conformado por un solo estrato, por ello, fue necesario, asumir valores teóricos en algunos de ellos como el caso de los tufos feldespaticos.

4.1 Datos geotécnicos

En base a los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos y de plasticidad realizados en el laboratorio de suelos, se han identificado 4 tipos de suelos, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Cuadro 1.

Cuadro 1: Parámetros físicos y tipos de suelos (SUCS) existentes en la ciudad de Huancabamba

CALICATA	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	DENSIDAD NATURAL (gr/cm ³)	HUMEDAD (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	DESCRIPCIÓN
HBA_01	671474	9422066	2017	2.20	N.P	--	5.50	5.00	GW-GM	Grava bien graduada con limos y arena
HBA_02	671231	9421777	1991	3.10	N.P	1.59	33.10	31.80	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_03	671118	9421086	1910	3.40	N.P	1.83	20.40	18.00	GM	Grava limosa
HBA_04	671895	9421332	1997	3.00	N.P	1.44	33.20	32.80	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_05	671531	9421007	1943	1.20	N.P	1.55	19.60	24.00	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_06	671641	9420979	1959	2.50	N.P	1.57	18.80	5.90	SM	Arena limosa
HBA_08	672027	9420853	1919	2.40	1.00	--	48.30	14.80	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_09	671795	9420479	1889	3.80	N.P	--	13.40	6.10	SM	Arena limosa
HBA_10	671248	9420259	1971	3.70	N.P	1.51	24.50	22.30	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_11	671818	9420404	1889	3.00	N.P	--	11.40	13.20	GM	Grava limosa
HBA_12	671951	9420275	1879	3.20	N.P	--	22.20	8.50	SM	Arena limosa
HBA_13	672361	9420320	1903	3.10	N.P	1.61	11.40	9.60	SM	Arena limosa
HBA_14	671652	9419935	1948	3.40	N.P	1.52	19.30	3.90	SM	Arena limosa
HBA_16	671163	9419682	1985	3.50	N.P	--	12.40	24.00	GM	Grava limosa
HBA_17	672840	9418571	2004	3.70	N.P	1.51	30.70	32.80	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad
HBA_18	672404	9420604	1941	2.50	N.P	1.49	17.10	28.10	GM	Grava limosa
HBA_19	671774	9420513	1901	3.50	N.P	1.61	12.20	7.30	GM	Grava limosa

Fuente: IGP, 2018

4.2 Datos geofísicos

Para delimitar en los perfiles la presencia de suelos saturados y/o nivel freático, así como, de rocas fracturadas a profundidad, se empleó la información del estudio “Evaluación geofísica por peligro de deslizamiento de la ciudad de Huancabamba” en la cual se indica que:

“La plaza de armas de Huancabamba, se ubica sobre suelo muy rígido; sin embargo, por debajo de los 30 metros de profundidad, los resultados sugieren la presencia de roca fracturada, asentada sobre roca intacta”.

“Los sectores 2 y 4, consideran al Barrio Laguna, áreas del extremo NO del Altillo, Segunda Yaputo y del sector La Villa, donde existen, a nivel superficial capas de suelos blandos y moderadamente rígidos ($V_s = 124$ a 337 m/s) con espesores que varían de 20 a 40 metros; además de presentar un alto contenido de humedad.”

“Las zonas más críticas y susceptibles a deslizarse, por el alto nivel freático que presentan, son principalmente los AA.HH. de: Barrio Laguna, Barrio Jibaja Ch., Barrio el Altillo y La Villa”

4.3 Aceleración máxima horizontal

En el caso del análisis de estabilidad de talud en condiciones pseudoestáticas (sísmicas) se empleó la aceleración máxima horizontal según lo establecido en la norma E.030 Sismorresistente, Figura 5. La ciudad de Huancabamba se ubica en la zona 3.

El valor de la aceleración horizontal máxima para el análisis pseudoestáticas, se empleará $1/3$ de la aceleración horizontal máxima en la componente horizontal y según la norma Sismorresistente E030 en el caso de considerar la influencia de la componente vertical en el movimiento sísmico, se deberá estimar los $2/3$ del valor de aceleración horizontal máxima.



Figura 5: Zonificación Sísmica del Perú. E030 Diseño Sismorresistente

En la Tabla 1, se indica el factor asignado a cada zona (PGA= *peak ground acceleration*) para un período de retorno T=500 años, de acuerdo a las 4 zonas en las que se divide el Perú.

Tabla 1: Factor de zona en Perú

Factor de zona Perú (E030)				
ZONA	1	2	3	4
PGA	0.10	0.25	0.35	0.45

Fuente: Normativa Diseño Sismorresistente E030 para el Perú

En el Perú se emplean cuatro normativas de las varias que existen a nivel nacional e internacional, las cuales regulan el coeficiente de seguridad aceptable en condiciones

estáticas y pseudoestáticas (sísmicas), de acuerdo a la temporalidad y situación de cálculo de análisis de estabilidad. En la Tabla 2 se indican los factores de seguridad de acuerdo a las normativas y que son aceptados en Perú.

Tabla 2: Coeficientes de seguridad a emplear en análisis de estabilidad de talud

NORMATIVA	TALUD TEMPORAL		TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	SÍSMICA	ESTÁTICA	SÍSMICA
AASHTO LRFD	1.33 - 1.53	1.1	1.33 – 1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3 - 1.25	1.15 - 1.2	1.5	1.15 - 1.2
FHWA-NHI-11-032		1.1	-	1.1
CE.020			1.5	1.25

Fuente: Revista CIVILIZATE N° 7, 2015, **Dónde:** LRFD = Load and Resistance Factor Desing

Por ello, se puede deducir que, un talud permanente es **INESTABLE** cuando el factor de seguridad en condiciones estáticas es menor a 1.3 y en condiciones pseudoestáticas es menor a 1.1.

5. RESULTADOS

De acuerdo al análisis de estabilidad de talud aplicado a los perfiles 1-1', 2-2', 3-3' y 4-4', en condiciones estáticas y pseudoestáticas, ubicados en la ciudad de Huancabamba, se ha obtenido que los siguientes factores de seguridad, Figuras 06 al 13.

Asimismo, en cada una de los perfiles se ha estimado el factor de seguridad y el radio de la superficie de falla, Cuadro 2:

Cuadro 2: Perfil y profundidad de probable superficie de rotura

PERFIL	FACTOR DE SEGURIDAD CONDICIONES ESTÁTICAS	FACTOR DE SEGURIDAD CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS	PROFUNDIDAD (m)
1-1'	0.582 - 1.01	0.153 - 0.630	2 - 30
2-2'	1.564 - 1.743	0.677 -1.186	2 - 60
3-3'	1.356	0.690 - 1.109	1 - 30
4-4'	1.39	1.147	2 - 22

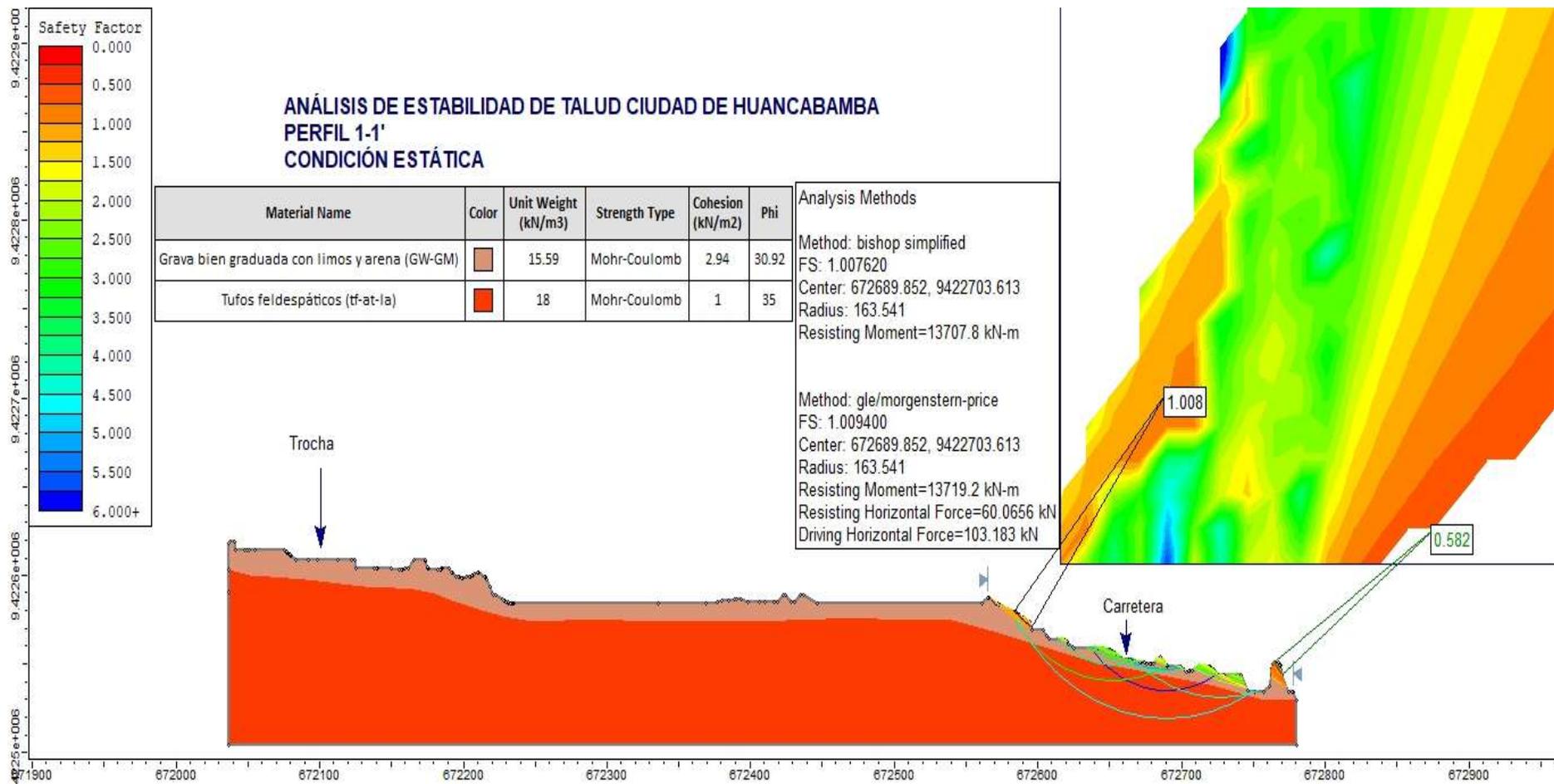


Figura 6: Análisis de estabilidad de talud Perfil 1-1' en condición estática, se determinaron dos zonas muy inestables con factor de seguridad FS=1.008 y 0.582

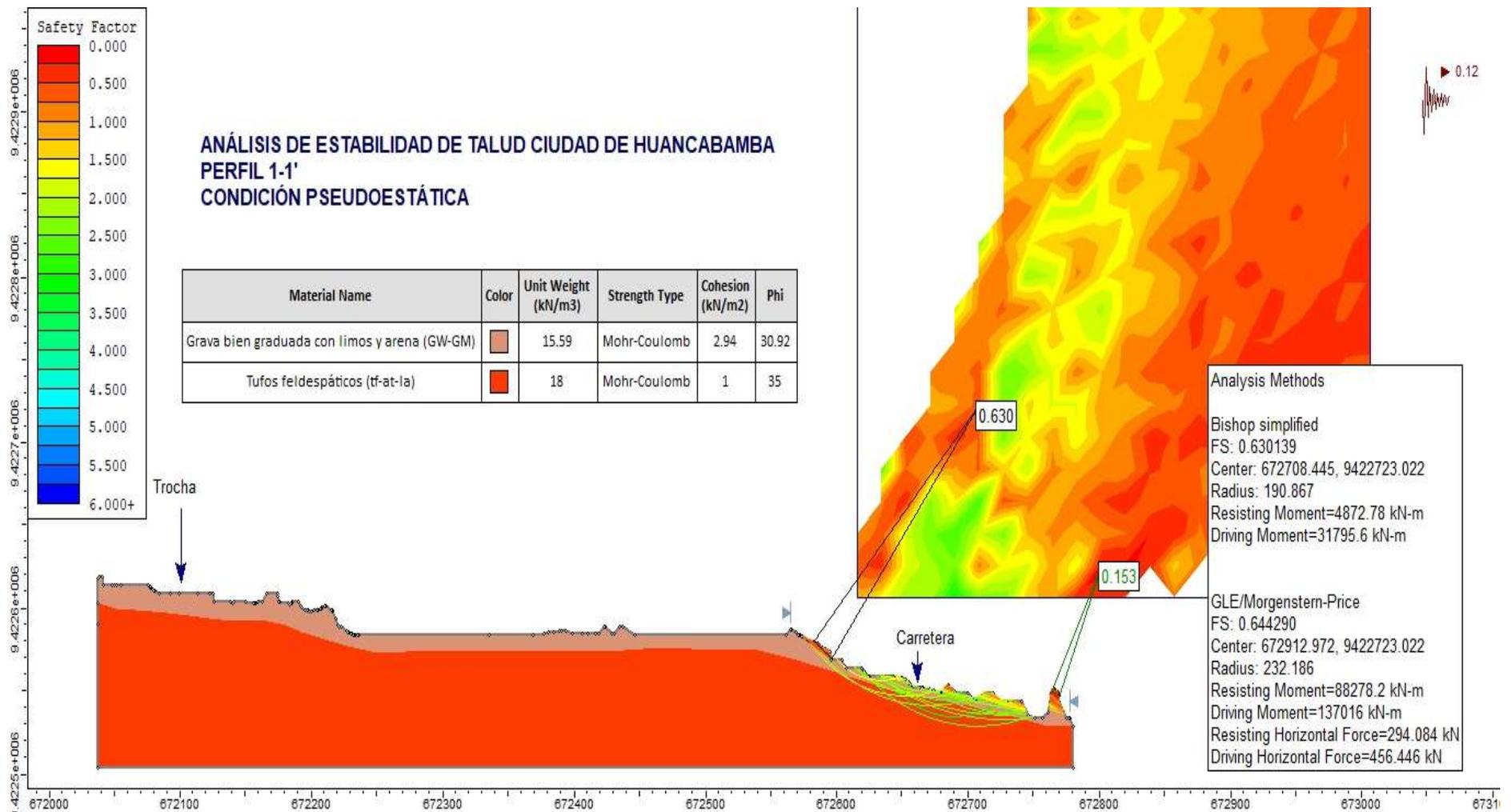


Figura 7: Análisis de estabilidad de talud Perfil 1-1 en condición pseudoestática se determinaron dos zonas muy inestables con factor de seguridad FS=0.360 y 0.153

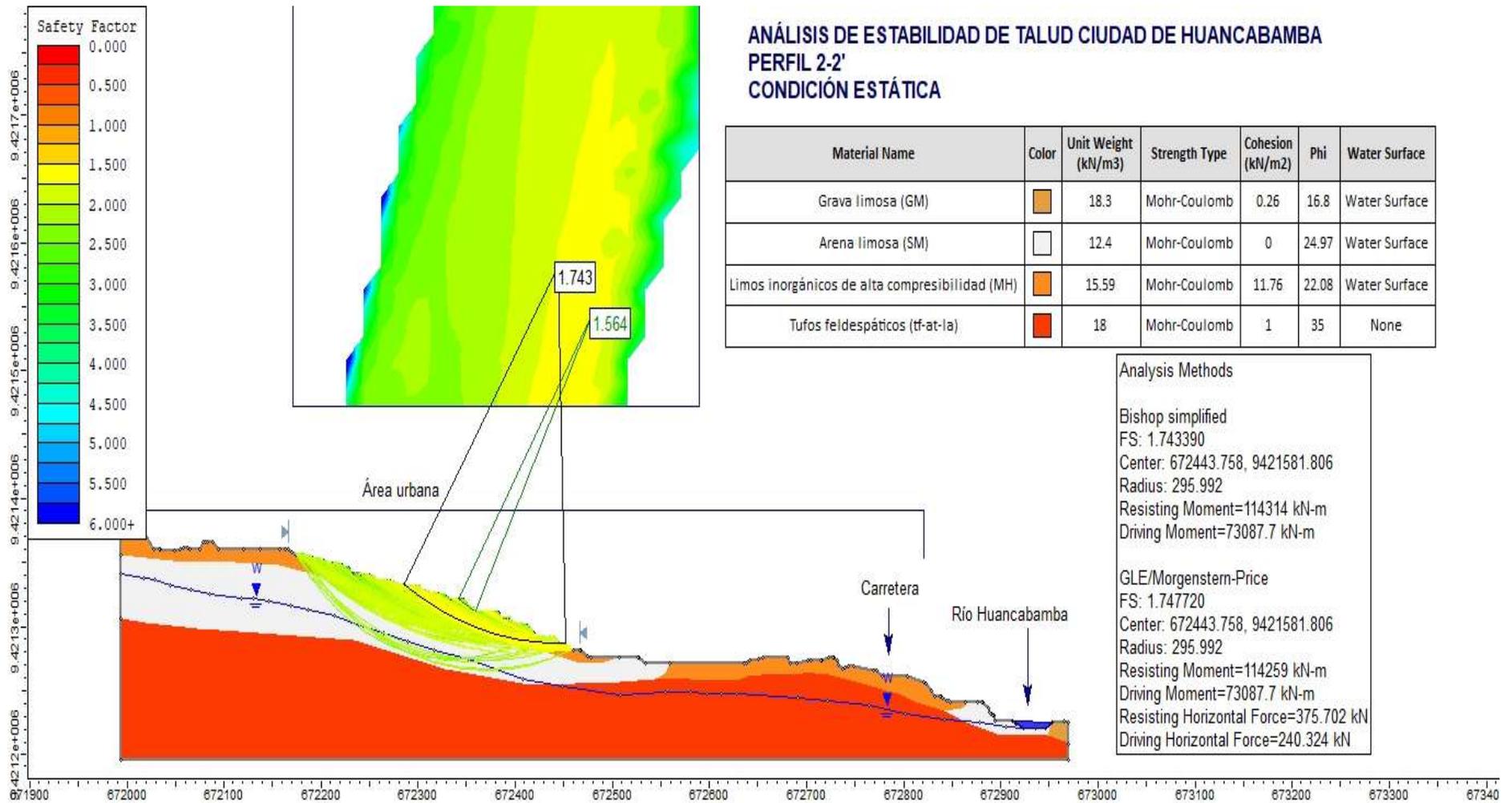


Figura 8: Análisis de estabilidad de talud Perfil 2-2' en condición estática con factor de seguridad FS=1.743

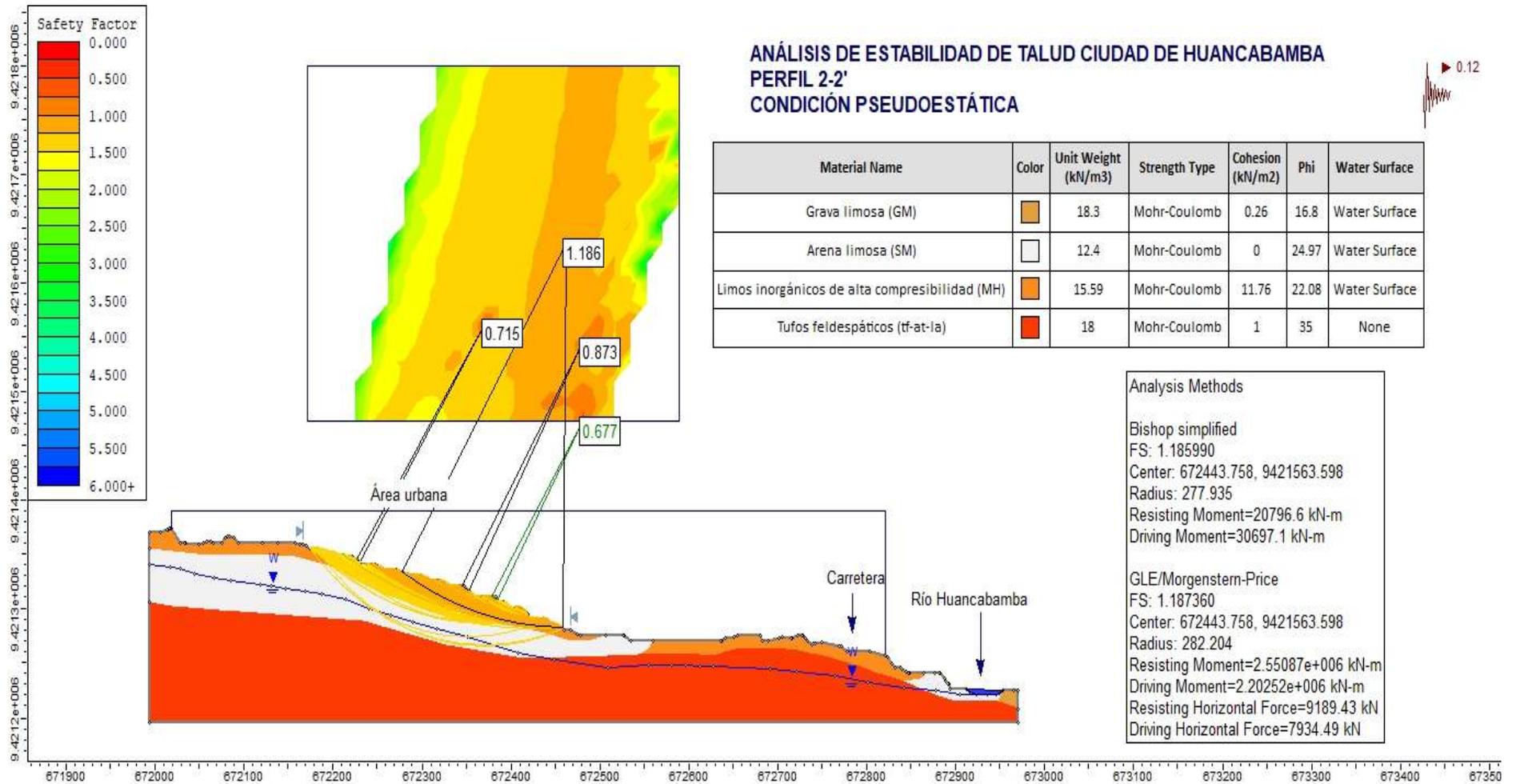


Figura 9: Análisis de estabilidad de talud Perfil 2-2' en condición pseudoestática presenta una zona con factor de seguridad FS= 1.186 y otras tres entre 0.677 y 0.873

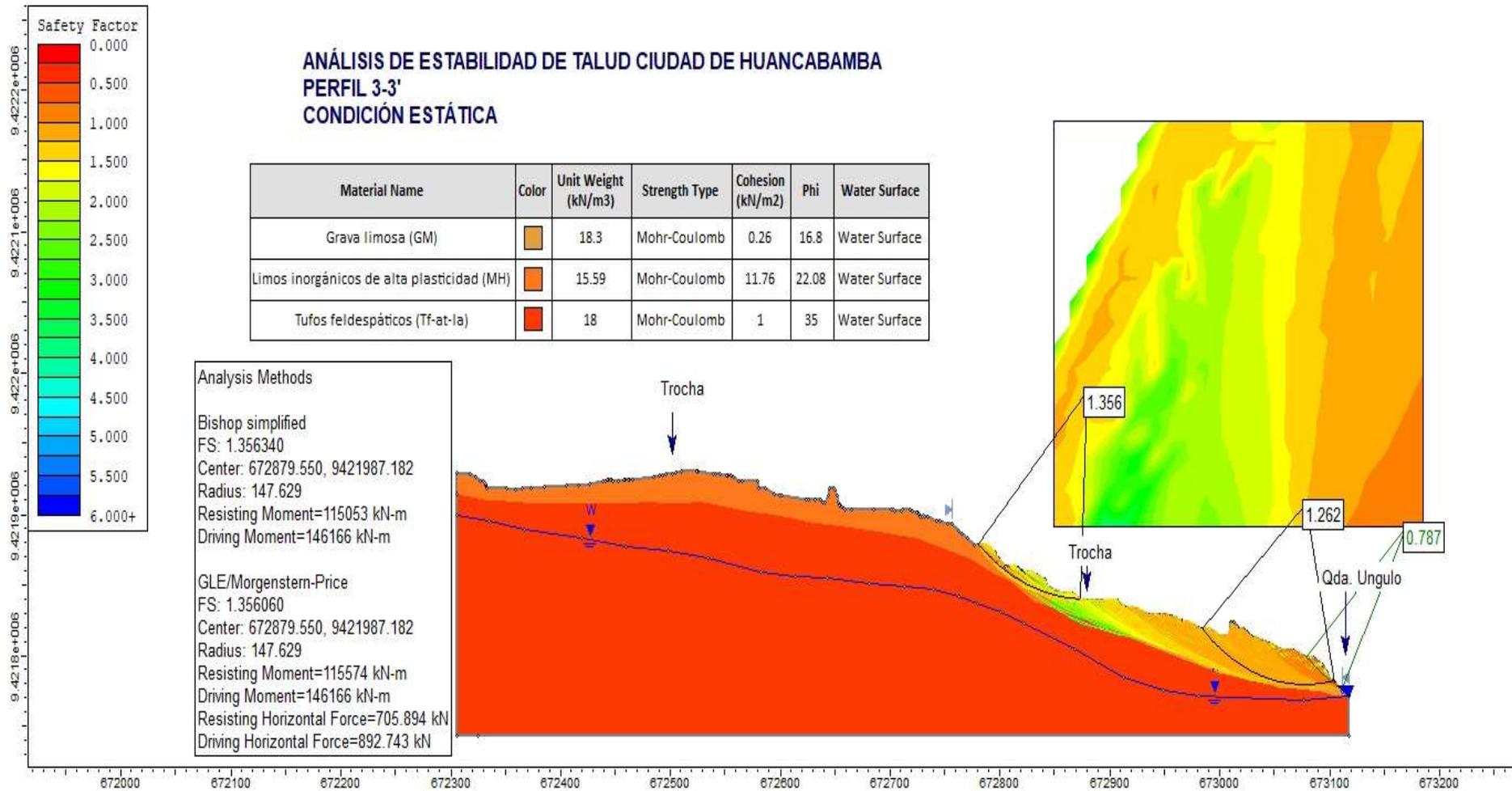


Figura 10: Análisis de estabilidad de talud Perfil 3-3' en condición estática se determinaron tres zonas con factor de seguridad FS=1.356, 1.262 y 0.787

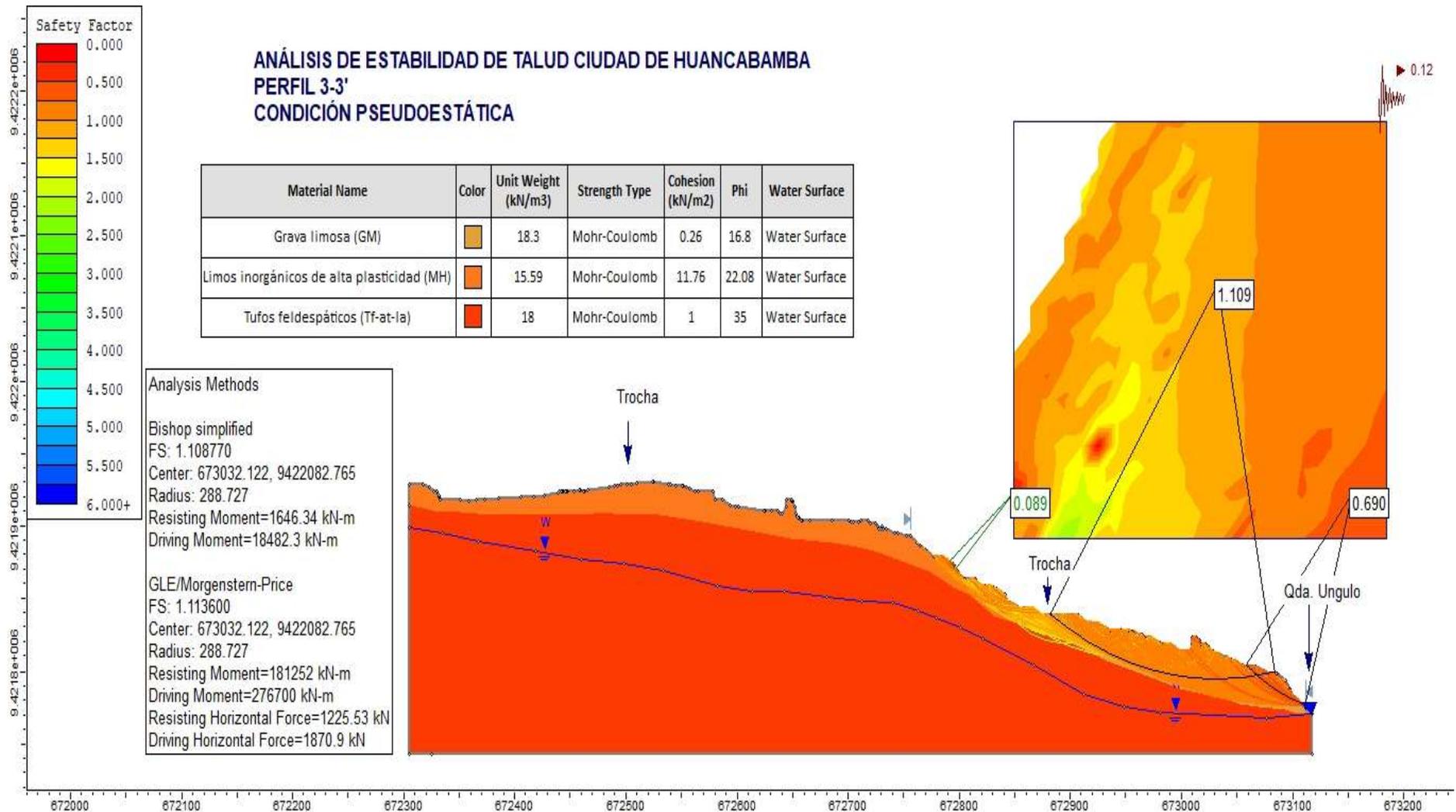


Figura 11: Análisis de estabilidad de talud Perfil 3-3' en condición pseudoestática, se determinaron tres zonas muy inestables con factor de seguridad FS=1.109, 0.690 y 0.089

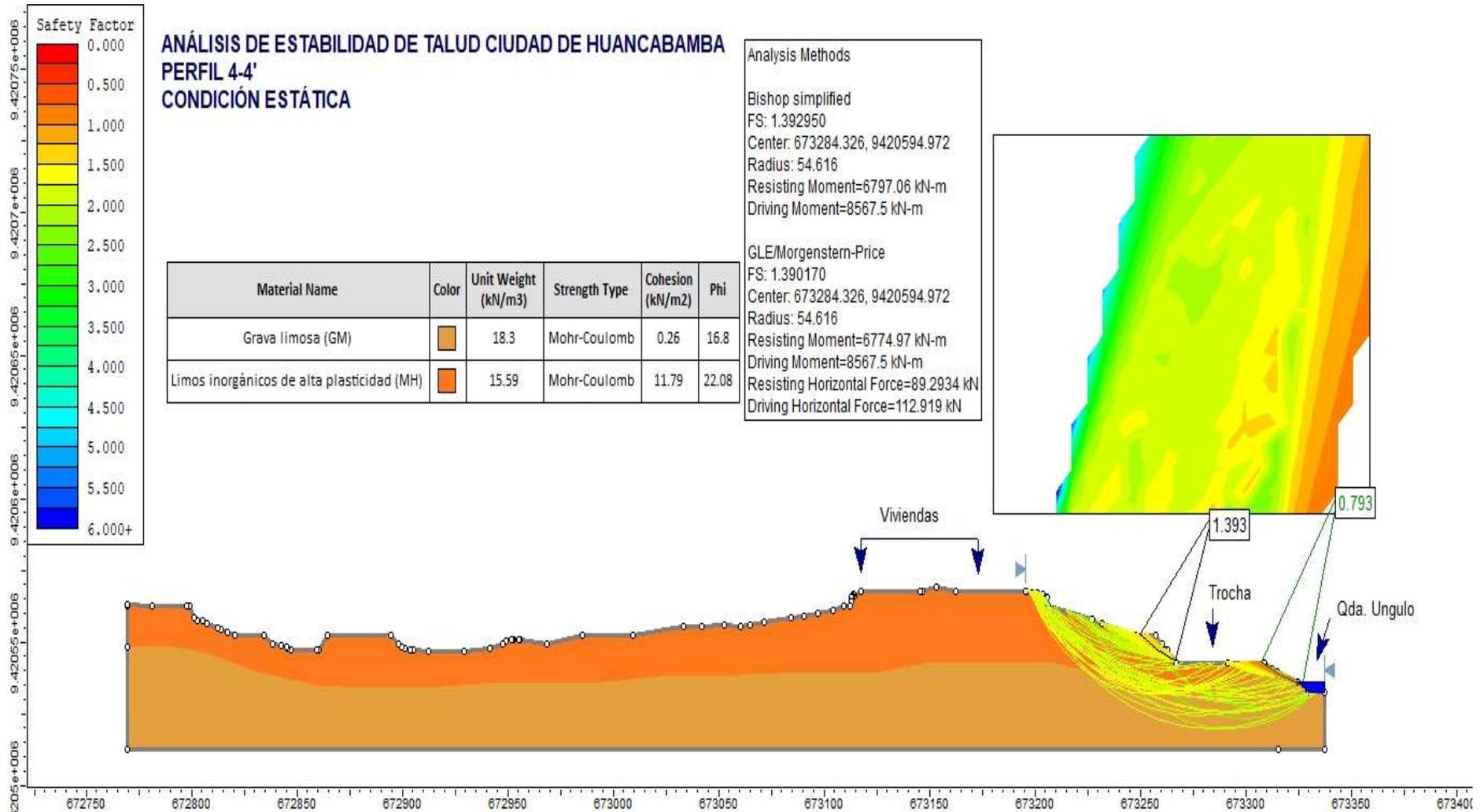


Figura 12: Análisis de estabilidad de talud Perfil 4-4' en condición estática, se determinaron dos zonas con factor de seguridad FS=1.393 y 0.793

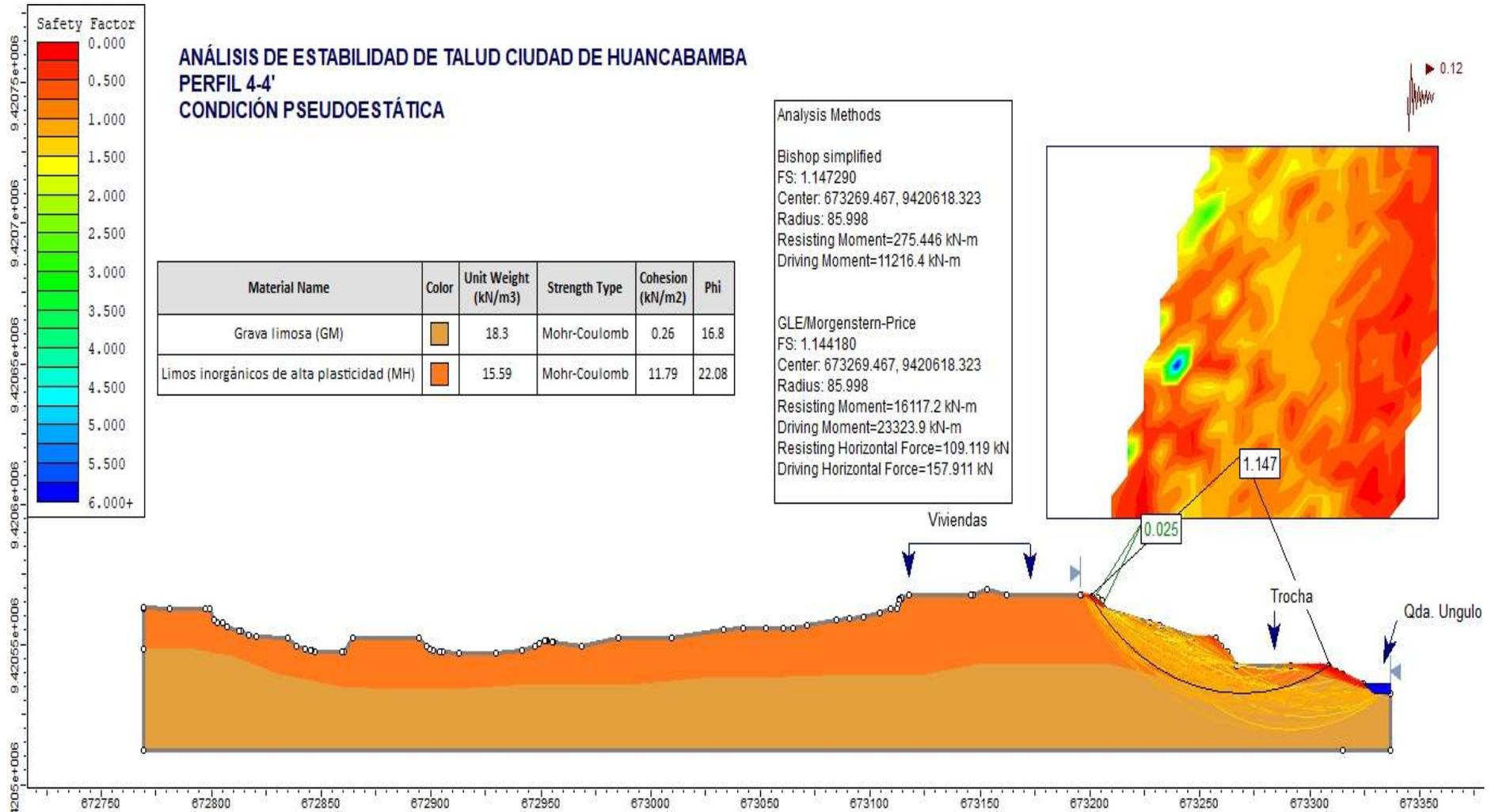


Figura 13: Análisis de estabilidad de talud sección 4-4' en condición pseudoestática, se determinó una zona muy inestable con factor de seguridad FS=1.147

6. DISCUSIÓN

Para los Perfiles (1-1', 2-2', 3-3' y 4-4') se obtuvieron factores de seguridad (F.S.) muy similares en los tres métodos de análisis (Bishop Simplificado, GLE/Morgenstern-Price y Janbú Simplificado). Este porcentaje de variación se indica en el Cuadro 03.

Cuadro 3: Análisis comparativo de resultados de Factor de Seguridad según método y condición

PERFIL	FS ESTÁTICO MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO	FS ESTÁTICO MÉTODO GLE/MORGENSTERN-PRICE	FS ESTÁTICO MÉTODO JANBÚ SIMPLIFICADO	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO GLE/MORGENSTERN-PRICE	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBÚ SIMPLIFICADO	% VARIACIÓN MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO	% VARIACIÓN MÉTODO GLE/MORGENSTERN-PRICE	% VARIACIÓN MÉTODO JANBÚ SIMPLIFICADO
1-1'	1.00762	1.00940	0.86600	0.630139	0.64429	0.720181	63	64	83
2-2'	1.74339	1.74772	1.631830	1.185990	1.187360	1.173860	68	68	72
3-3'	1.35634	1.35606	1.30425	1.108770	1.113600	0.811256	82	82	62
4-4'	1.39295	1.39017	1.38088	1.147290	1.144180	0.859287	82	82	62

La variación del FS estático y pseudoestático en cada uno de los tres métodos oscila entre 62% y 83%, según cada caso.

Al analizar la variación de los FS entre los tres métodos se obtuvo:

Cuadro 4: Análisis comparativo de resultados de Factor de Seguridad entre los tres métodos y en condición pseudoestática

PERFIL	FS ESTÁTICO MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO	FS ESTÁTICO MÉTODO GLE/MORGENSTERN-PRICE	FS ESTÁTICO MÉTODO JANBÚ SIMPLIFICADO	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO BISHOP SIMPLIFICADO	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO GLE/MORGENSTERN-PRICE	FS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBÚ SIMPLIFICADO	%VARIACIÓN FS PSEUDOESTÁTICO ENTRE BISHOP SIMPLIFICADO Y GLE/MORGENSTERN-PRICE	%VARIACIÓN FS PSEUDOESTÁTICO ENTRE BISHOP SIMPLIFICADO Y JANBÚ SIMPLIFICADO	%VARIACIÓN FS PSEUDOESTÁTICO ENTRE GLE/MORGENSTERN-PRICE Y JANBÚ SIMPLIFICADO
1-1'	1.00762	1.00940	0.86600	0.630139	0.64429	0.720181	D+0.7%	D+4.5%	D+3.8%
2-2'	1.74339	1.74772	1.631830	1.185990	1.187360	1.173860	D+0.1%	D+6%	D+0.7%
3-3'	1.35634	1.35606	1.30425	1.108770	1.113600	0.811256	D+0.2%	D+15%	D+15%
4-4'	1.39295	1.39017	1.38088	1.147290	1.144180	0.859287	D+0.2%	D+14%	D+14%

Del Cuadro 4, se deduce que, Bishop Simplificado presenta una menor variación entre sus resultados, mientras que GLE/Morgenstern-Price la mayor debido a que considera el equilibrio momentos y fuerzas, mientras que Bishop Simplificado (momentos) y Janbú Simplificado (fuerza).

En el caso de los perfiles 3-3' y 4-4', la existe una relación entre el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas, que corresponde a aproximadamente un 61%

$$\text{FS estático} = 1.61 * \text{FS Pseudoestático}$$

7. CONCLUSIONES

En la ciudad de Huancabamba se han generado eventos geodinámicos del tipo movimientos en masa, que afectan la seguridad física del centro urbano y anexos. Dentro de las zonas potencialmente inestables se delimitaron cuatro perfiles, tales como: 1-1' (ubicado a 1.2 km al norte del centro urbano), 2-2' (bifurca el centro urbano), 3-3' (1 km al noreste de la ciudad, margen derecha de la quebrada Ungulo) y finalmente, 4-4' (500 m al este de la plaza de armas, margen izquierda de la quebrada en mención), a los cuales se les realizó el análisis de estabilidad de talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

De los resultados del análisis de estabilidad, se determinó que el perfil 1-1', en condiciones estáticas, el Factor de Seguridad (FS) es menor a 1.3, y en condiciones pseudoestáticas el FS es menor a 1, por lo que se considera un talud **INESTABLE**. En los perfiles 2-2', 3-3' y 4-4' los FS son menores a 1 y por tanto son **INESTABLES**.

Al realizar el análisis comparativo de los resultados del FS de los tres métodos (Bishop Simplificado, GLE/Morgenstein Price y Janbú Simplificado) en condiciones pseudoestáticas, los valores en los perfiles 1-1' y 2-2' tienden a variar entre 20 y 40 % aproximadamente, a diferencia de los perfiles 3-3' y 4-4' en los cuales existe una relación entre el factor de seguridad estático y pseudoestático ($FS_{estático} = 1.61 * FS_{pseudoestático}$).

8. RECOMENDACIONES

Para el caso de la infiltración de agua en el terreno, se recomienda implementar de canales de coronación, drenes sub horizontales en la cabecera del talud y canaletas en el sector Aliguay, así como, en el pie del mismo para direccionar o dirigir el agua drenada hacia el río Huancabamba, acompañado de un adecuado mantenimiento del sistema de drenaje de la ciudad.

Finalmente, se recomienda el revestimiento de los canales artesanales para el riego de cultivos ubicados en la parte alta de Huancabamba, principalmente en los anexos de la ciudad (sectores Fronterizo-Comenderos y Comenderos Alto), de esta manera se evitará que el agua se infiltre en los estratos inferiores y se produzca la inestabilidad, sobre todo en suelos tipo limos inorgánicos de alta plasticidad.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, E., (2005) – Estabilidad de taludes. Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya.

Gerscovich, D. (2013) - Estabilidade de Taludes. São Paulo: Oficina de Textos.

Gonzales de Vallejo, L. (2003) - Mecánica del Suelo. En L. GonzalesdeVallejo, M. Ferrer, L. Ortaño, & C. Oteo, Ingeniería Geológica (págs. 74-89). Madrid: Pearson.

Hoek, E., (2000) - Rock mass properties. En E. Hoek, Rock engineering (págs. 161- 203). Vancouver, Cánada.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2018) - Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”. Resolución Ministerial N°355-2018-VIVIENDA

Sanhueza, P., C. & Rodrigues C., L.,. (2013) – Análisis Comparativo de Métodos de Cálculo de Estabilidad de Taludes finitos aplicados a laderas naturales. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. Revista de la Construcción Volumen 12 N° 1 - 2013

Suarez, J., (2009) - Análisis de Estabilidad. En Deslizamientos, Análisis Geotécnico (págs. 127-172).

Valiente, S., R & Salvador, S.,M. & Díaz, O., A., (2015) - Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. Revista CIVILIZATE N° 7.