

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



BORRADOR DE TESIS

TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA Y BIOTECNOLOGÍA
EN TALUDES
DEL CERRO DE LA PICOTA - HUAMANGA -
AYACUCHO

DIRIGIDO POR:
M.Sc. ING. J. ERNESTO ESTRADA CÁRDENAS

PRESENTADO POR:
BACH. DIAZ MEZA, RENAN

AYACUCHO - 30 DE JULIO DE 2018

“Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como una oportunidad para penetrar en el bello y
maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

Dedicatoria

A mis padres, hermanos, amigos y amigas que siempre han estado para mí brindándome su apoyo incondicional.

Agradecimiento

A mis padres, mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos.

A los Ingenieros: José Ernesto Estrada Cárdenas, Angel Hugo Vilches Peña y Jaime Leonardo Bendezú Prado; por sus sugerencias, recomendaciones y observaciones, su atención oportuna que fue primordial en el proceso del desarrollo de la investigación.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga(UNSCH), Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil - Escuela Profesional de Ingeniería Civil, centro de estudios en mi formación de Pre-Grado, que me brindó la oportunidad e hizo de más para desenvolverme en este apasionante campo de la Ingeniería.

Diaz Meza, Renan
[http://rhenan_123@hotmail.com](mailto:rhenan_123@hotmail.com)
<http://rhenandiaz.blogspot.pe/>
UNSCH
AYACUCHO - 30 DE JULIO DE 2018

Renan Diaz

Índice general

Dedicatoria	I
Agradecimiento	II
Índice General	III
Índice Figuras	VII
Índice Cuadros	IX
Resumen	X
Abstract	XI
Introducción	XII
Capítulo 1 Generalidades	1
1.1 Antecedentes Bibliográficos	1
1.1.1 A nivel internacional	1
1.1.2 A nivel nacional	1
1.1.3 A nivel local	2
1.2 Título de la tesis	2
1.3 Planteamiento del problema	2
1.3.1 Problema principal	2
1.3.2 Problemas secundarios	2
1.4 Justificación	2
1.4.1 Justificación científica	3
1.4.2 Justificación técnica	3
1.4.3 Justificación institucional	3
1.4.4 Justificación personal	3
1.5 Importancia	3
1.6 Objetivos	3
1.6.1 Objetivo general	3
1.6.2 Objetivos específicos	3
1.7 Hipótesis	4
1.7.1 Hipótesis generales	4
1.7.2 Hipótesis específicos	4
1.8 Variables e indicadores	4
1.8.1 Variable independiente	4
1.8.2 Variable dependiente	4
1.8.3 Indicadores	5
1.9 Unidad de análisis	5
1.10 Metodología de investigación	5
1.10.1 Tipo y nivel de investigación	5
1.10.2 Diseño de la investigación	6

Capítulo 2 Marco teórico	7
2.1 Vegetación y bioingeniería	7
2.1.1 Características de las plantas y del suelo fértil	8
2.1.2 Efectos hidrológicos de la vegetación	9
2.1.2.1 Intercepción de la lluvia	9
2.1.2.2 Retención de agua	10
2.1.2.3 Acumulación de agua	10
2.1.2.4 Goteo o flujo por el follaje	10
2.1.2.5 Evapotranspiración	10
2.1.3 Control de erosión	12
2.1.4 Características de las raíces	12
2.1.4.1 Resistencia del sistema suelo - raíces	14
2.1.5 Acción de refuerzo de las raíces	16
2.1.5.1 Efecto de anclaje	20
2.1.5.2 Efectos de la deforestación	20
2.1.6 Mecanismo de reforzamiento del suelo y estabilización de taludes por las raíces de los árboles.	21
2.1.7 Estimación de la cohesión “aparente” generada por las raíces de los árboles	21
2.1.8 Diseño de revegetalización	22
2.2 Biotecnología en las taludes del Cerro de la Picota	23
2.2.1 Generalidades de la biotecnología	24
2.2.1.1 Control de erosión	24
2.2.1.2 Papel de la vegetación	25
2.2.2 Soluciones para el control de erosión	25
2.2.2.1 Mantos temporales	25
2.2.2.2 Mantos permanentes	25
2.2.3 Geomallas	26
2.2.3.1 Geomalla uniaxial	26
2.2.3.2 Geomalla biaxial	28
2.2.3.3 Geomalla triaxial	29
2.3 Propiedades F-Q de las laderas naturales	30
2.3.1 Propiedades físicas del suelo	30
2.3.1.1 Color	30
2.3.1.2 Textura	30
2.3.1.3 Densidad aparente	31
2.3.1.4 Capacidad de campo	32
2.3.1.5 Punto de marchites	32
2.3.2 Propiedades químicas de los suelos	32
2.3.2.1 Principales componentes de las propiedades químicas de los suelos	33
2.3.2.2 Ph	33
2.3.2.3 Factores que intervienen en la acidez de los suelos	34
2.3.2.4 Cambio iónico	35
2.4 Medidas correctivas con la bioingeniería	36
2.4.1 Medidas para evitar riesgos para las personas y los bienes	36
2.4.1.1 Estimación de los escenarios de riesgo	37
2.4.1.2 Identificación de sectores críticos	39

2.4.2	Medidas destinadas a la protección del patrimonio cultural	40
2.4.3	Medidas sobre la vegetación	41
2.4.4	Medidas para la conservación de los espacios naturales protegidos . .	42
2.4.5	Medidas sobre la edafología	43
2.4.6	Medidas para evitar afecciones con la hidrología	43
2.5	Impacto económico y ambiental de la bioingeniería	44
2.5.1	Impacto económico de la bioingeniería	44
2.5.2	Impacto ambiental de la bioingeniería	45
2.5.2.1	Área de influencia	46
2.5.2.2	Descripción del Medio Físico	46
2.5.2.3	Descripción del medio biológico	48
2.5.2.4	Identificación de impactos ambientales	49
2.5.2.5	Proceso de identificación de impactos ambientales	50
2.5.2.6	Actividades del proyecto con potencial de originar impactos	50
2.5.2.7	Componentes del ambiente potencialmente afectables . . .	50
2.6	Modelo numérico con GeoStudio	51
2.6.1	Método del equilibrio límite (MEL)	53
2.6.2	Método de las rebanadas	54
2.6.3	Método de MORGENSTERN y PRICE	55
2.6.4	Método de SPENCER	55
2.6.5	Método de JANBU	56
2.6.6	Método de SARMA	57
2.6.7	Método de BISHOP	58
2.6.8	Método de ORDINARY (FELLENIUS)	59
Capítulo 3 Materiales y métodos		60
3.1	Características del paquete SLOPE/W	60
3.1.0.1	Métodos de cálculo:	60
3.1.0.2	Geometría y estratigrafía:	61
3.1.0.3	Superficies de deslizamiento:	61
3.1.0.4	Presión hidrostática:	61
3.1.0.5	Propiedades de los suelos:	62
3.1.0.6	Tipos de cargas:	62
3.2	Área de estudio	62
3.3	Aspectos técnicos del modelo numérico del talud	63
3.3.1	Topografía del área de estudio	63
3.3.2	Parámetros para el cálculo del talud	64
3.3.3	Ensayos realizados	65
3.4	Modelamiento numérico	66
3.4.1	Criterios de simulación de la aplicación software GeoStudio-SLOPE/W	66
3.4.2	Condiciones generales para el modelo	67
3.4.2.1	Parámetros de ingreso al software GeoStudio-SLOPE/W .	67
3.4.3	Cálculo de FS con materiales es su estado saturado	67
3.4.4	Cálculo de FS con Parámetros adicionando la cohesión de la raíz . .	68
Capítulo 4 Resultados y discusión		70
4.1	Análisis y cálculo del factor de seguridad	70
4.2	Resistencia cortante a mayores profundidades	72

4.3	Modelamientos con diferentes tramos de revegetación y profundidad de raíces	74
4.4	Erosión en el área de la zona de estudio	76
4.5	Comparación de geomallas vs propuesta de tesis	78
4.6	Análisis de propiedades F-Q de las laderas naturales	78
4.7	Análisis sobre medidas correctivas con la bioingeniería	79
4.8	Análisis de impacto económico y ambiental	79
	Conclusiones	80
4.9	Conclusiones:	80
4.10	Recomendaciones:	81
	Glosario	82
	Acrónimos	83
	Símbolos	83
	Bibliográfica	83
	Anexos	88

Índice de figuras

Figura :2.1	Efectos de la vegetación	8
Figura :2.2	Esquema del efecto de la vegetación sobre el modelo hidrológico subsuperficial.	11
Figura :2.3	Esquema de la fuerza de tracción del viento.	13
Figura :2.4	Tipos de Raíz.	14
Figura :2.5	Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles.	17
Figura :2.6	Tipos de anclaje de la superficie de falla por acción de las raíces (Tsukamoto y Kusakabe)	18
Figura :2.7	Fuerza de anclaje de arbustos y hierbas de raíz profunda (Bache y Mackaskill 1984).	19
Figura :2.8	Efecto de arco de la vegetación.	19
Figura :2.9	Esquema del análisis propuesto para calcular el factor de seguridad teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.	22
Figura :2.10	Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de revegetalización.	23
Figura :2.11	Tipos de geomallas	26
Figura :2.12	Geomalla uniaxial	27
Figura :2.13	Tendido de geomalla	27
Figura :2.14	Geomalla biaxial	28
Figura :2.15	Geomalla triaxial	29
Figura :2.16	Triángulo de texturas del suelo.	31
Figura :2.17	Construcción de edificaciones al pie del talud	36
Figura :2.18	Ubicación del centro Histórico	41
Figura :2.19	Análisis económico para estabilidad de taludes	44
Figura :2.20	Superficie de Tierras del Distrito de Ayacucho	48
Figura :2.21	Síntesis del proceso metodológico para la identificación y evaluación de impactos ambientales.	49
Figura :2.22	Paquetes de software GeoStudio.	53
Figura :2.23	Ábaco para obtener el factor de corrección	57
Figura :3.1	Zona por donde pasa el perfil longitudinal	63
Figura :3.2	Zona por donde pasa el perfil longitudinal	64
Figura :3.3	Ensayo de la resistencia a la tensión	66
Figura :3.4	Perfil geométrico	67
Figura :3.5	Modelo 01 con parámetros del suelo en su estado saturado	68
Figura :3.6	Modelo 02 con parámetros del suelo adicionando la cohesión de la raíz	69
Figura :4.1	Gráfica de factor de seguridad	71

Figura :4.2	Profundidades de análisis	72
Figura :4.3	Análisis 01	72
Figura :4.4	Análisis 02	73
Figura :4.5	Análisis 03	73
Figura :4.6	Modelo del perfil 02 en su estado saturado	74
Figura :4.7	Modelo del perfil 02 con aporte de la raíz	75
Figura :4.8	Modelo del perfil 02 con raíces menores	76
Figura :4.9	Delimitación de la zona de Estudio	77
Figura :4.10	Características para elaborar el proyecto	78

Índice de tablas

Tabla :1.1	Variable e Indicadores	5
Tabla :2.1	Componentes de la planta y sus funciones	9
Tabla :2.2	Valores de Et/Eo para diversas coberturas vegetales	11
Tabla :2.3	Resumen de resultados de pruebas de resistencia de raíz individuales	16
Tabla :2.4	Parámetros de resistencia al corte	22
Tabla :2.5	Relación C/N según calidad de materia orgánica.	33
Tabla :2.6	Clasificación de acidez del suelo	34
Tabla :2.7	Valores de CIC según material.	35
Tabla :2.8	Niveles de riesgo según sectores identificados del Distrito de Ayacu- cho	39
Tabla :2.9	Evaluación de impactos	50
Tabla :2.10	Actividades del proyecto	51
Tabla :2.11	Matriz de Leopold.	52
Tabla :3.1	Coordenadas del perfil longitudinal	63
Tabla :3.2	Datos de campo es su estado saturado	64
Tabla :3.3	Datos de campo (C+CR)	65
Tabla :4.1	Factor de seguridad con los diferentes métodos.	71
Tabla :4.2	Valores del factor de seguridad.	75

Resumen

El objetivo de la investigación es proteger el talud del Cerro de la Picota que se encuentra en el Distrito de Ayacucho ante la presencia de precipitaciones máximas, con éste fenómeno la zona de estudio se encuentra en riesgo de falla, por este motivo se hace el análisis numérico en dos etapas: El primero cuando los estratos están en su estado saturado, donde según el análisis tiende a fallar; el segundo cuando hay presencia del efecto de las raíces que funcionan como anclajes en la línea de falla que se considera como pilotes, el resultado del factor de seguridad es superior al resultado del primero.

La inestabilidad de taludes ¹ en condiciones de erosionabilidad ² es factible de modelarlo con técnicas modernas y el uso de herramientas informáticas complementadas con resultados de ensayos de laboratorio y de campo, así como la evaluación del potencial de riesgo del área en estudio utilizando las técnicas de bioingeniería ³ y biotecnología ⁴.

La erosión es controlada mediante las geomallas y la siembra del gras que es netamente oriundo de la zona de estudio, donde la vegetación combinada con estructuras inertes de ingeniería como los muros en suelo reforzado, mantos de control de erosión, geoestructuras se combinan con los efectos benéficos de la vegetación. Ambos elementos biológicos y mecánicos deben funcionar juntos en forma integrada y complementaria, con el fin de evitar el desprendimiento, transporte y depositación del suelo.

En conclusión el efecto de las raíces (bioingeniería) y el control de erosión y sedimentos (biotecnología) son las técnicas para la protección del talud del Cerro de la Picota.

PALABRAS CLAVE:

Bioingeniería, biotecnología, erosionabilidad, talud, deslizamiento.

¹Es el término que se utiliza para designar a la acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas, o cuencas de valles.

²Desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra.

³Disciplina que estudia las aplicaciones de la ingeniería a la biología.

⁴ Herramienta eficaz para incrementar la sustentabilidad en la producción de recursos renovables y no renovables y en la recuperación del medio ambiente

Abstract

The objective of the research is to protect the slope of the Cerro de la Picota that is in the District of Ayacucho in the presence of maximum rainfall, with this phenomenon the study area is at risk of failure, for this reason the analysis is done numerical in two stages: The first when the strata are in their saturated state, where according to the analysis tends to fail; the second when there is presence of the effect of roots that function as anchors in the fault line that is considered as piles, the result of the safety factor is superior to the result of the first.

The instability of slopes in conditions of erodibility It is feasible to model it with modern techniques and the use of computer tools complemented with results of laboratory and field tests, as well as the evaluation of the risk potential of the area under study using bioengineering and biotechnology techniques.

The erosion is controlled by the geogrids and the seeding of the grasses that is clearly native to the study area, where vegetation combined with inert engineering structures such as walls in reinforced soil, erosion control mantles, geostructures combine with the effects beneficial of the vegetation. Both biological and mechanical elements must work together in an integrated and complementary way, in order to prevent the detachment, transport and deposition of the soil.

In conclusion, the effect of the roots (bioengineering) and the control of erosion and sediments (biotechnology) are the techniques for the protection of the slope of Cerro de la Picota.

KEY WORDS:

Bioengineering, biotechnology, erodibility, slope, landslide.

Introducción

La naturaleza de los materiales involucrados y todo un conjunto de circunstancias que dependen de como se formó el talud y de su historia geológica, de las condiciones climáticas que primaron a lo largo de tal historia geológica, y la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado, definen aspectos tan importantes como configuración de los suelos y rocas o el flujo de las aguas subterráneas, el cual influye decisivamente en sus condiciones de estabilidad.

El Distrito de Ayacucho se ha expandido en forma brutal y caótica que ha abarcado gran parte del Cerro de la Picota, la amenaza de las partes altas y medias de la ladera natural bajo condiciones climáticas extremas (lluvias intensas) del terreno es imprescindible realizarlas, ya que en sus inmediaciones se encuentra aproximadamente el 20% de las edificaciones precarias e informales a media ladera y en la parte baja el área urbana que llega hasta el centro histórico.

La zona de estudio se encuentra por el norte Cruz de pata, por el oeste Puca Puca, por el sur Pueblo libre y por este Alto Perú.

El potencial de riesgo de precipitaciones máximas en el Distrito de Ayacucho, nos indicara la magnitud del proceso erosionable esperado con un cierto grado de persistencia y para un periodo de vida útil.

El potencial de erosionabilidad y deslizamientos inducidos por las precipitaciones máximas, en el Cerro de la Picota es una amenaza física y económica para la Región que se protegerá con la aplicación de la bioingeniería y la biotecnología.

1.1 Antecedentes Bibliográficos

Las técnicas de Ingeniería biológica provienen de la época medieval, en la que los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera.

La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas. [1]

1.1.1. A nivel internacional

A finales del siglo XVIII, se tiene constancia de las primeras obras publicadas. Esto permite establecer el origen de estas técnicas en la Europa Alpina, particularmente en Austria y Suiza. En el año 1886, se publicó una obra recopilatoria titulada “Estabilización de las riberas de nuestros ríos y desprendimientos de tierras” (Robert Lauterburg). La aparición de nuevas técnicas y materiales, sobre todo el hormigón, hizo que las técnicas de ingeniería biológica quedaran relegadas al ámbito rural y forestal de la zona centroeuropea y perdieran relevancia a favor de estas últimas.[1]

En la década de los años 30 del siglo XX, Europa Occidental sufrió una de sus crisis económicas más graves. Esto permitió que muchas de las técnicas de bioingeniería se rescataran debido a su bajo coste. En 1936, se creó en Alemania un centro oficial para investigación en Ingeniería Biológica. En una época de fuerte recesión, los deslizamientos, la erosión de los torrentes, las avalanchas y los aludes necesitaban técnicas artesanales baratas, con materiales disponibles in situ, de manera inmediata y a un coste mínimo.[1]

A partir de 1980, en los países centroeuropeos, gracias a los progresos de las ciencias naturales y al conocimiento de las bases biotécnicas, se realizaron unas sustanciales mejoras en los métodos, con elección de materiales vivos más adecuados. Con ello, estas técnicas se volvieron más eficientes y se han desarrollado nuevos métodos de mayor eficacia. Hoy en día existe una variedad de métodos que pueden solucionar la mayoría de los problemas de afianzamiento de taludes y riberas que puedan presentarse.[1]

1.1.2. A nivel nacional

Específicamente en este año 2017 hubo una cantidad de deslizamiento de taludes por el fuerte aumento de precipitaciones donde aumentan el nivel de caudal de los ríos para socavar o erosionar la base del talud así debilitar los taludes y en otros casos al debilitamiento del talud mediante el nivel freático del agua a consecuencia de las lluvias intensas.

1.1.3. A nivel local

En nuestra región Ayacucho ha sido parte de este desastre natural donde hubo una cantidad de deslizamiento de taludes como el tramo de la carretera: Ayacucho-VRAEM, Ayacucho-Lima, Ayacucho-Huancayo, Ayacucho-Lucanas, etc según manifiesta el Instituto Nacional de Defensa Civil.

En diciembre del 2009 ocurrió un desastre por una gran magnitud de la precipitación que erosionó la parte superior de la microcuenca del Jr. San Martín del Distrito de Ayacucho generando el transporte de sedimentos ocasionado muertes humanas y arrasando vehículos a su paso.

1.2 Título de la tesis

Técnicas de bioingeniería y biotecnología en taludes del Cerro de la Picota - Huamanga - Ayacucho.

1.3 Planteamiento del problema

La investigación se centra que en nuestro Distrito de Ayacucho se necesita proteger los taludes del Cerro de la Picota para prevenir los deslizamientos de taludes que puede ocasionar pérdidas humanas y destrucción de edificaciones que están a su paso ante grandes precipitaciones máximas.

1.3.1. Problema principal

¿ Serán estables los taludes naturales del Cerro de La Picota, ante un evento climático extremo de gran magnitud, que de acuerdo al potencial de riesgo de precipitaciones máximas se analizará en la zona?

1.3.2. Problemas secundarios

1. ¿ El peligro geodinámico planteado que es la erosionabilidad, afectará a gran parte de la población del Distrito de Ayacucho?
2. ¿ Qué efectos correlativos tendrá a la economía regional este evento geodinámico ?
3. ¿ Qué medidas correctivas se deben plantear para contener o mitigar estos peligros geodinámicos en la localidad ?

1.4 Justificación

El Distrito de Ayacucho se ha expandido en forma brutal y caótica que ha abarcado gran parte del Cerro de la Picota, la amenaza de las partes altas y medias de la ladera natural bajo condiciones climáticas extremas (lluvias intensas) del terreno es imprescindible realizarlas, ya que en sus inmediaciones se encuentra aproximadamente el 20 % de las edificaciones precarias e informales a media ladera y en la parte baja el área urbana que llega hasta el centro histórico.

1.4.1. Justificación científica

Esta investigación es necesaria para los responsables de las decisiones en ejecuciones de obras públicas ante prevención de desastres naturales, porque sus aportes pueden contribuir a mejorarlas las prevenciones.

1.4.2. Justificación técnica

Es también necesaria para las poblaciones del Distrito de Ayacucho, porque sus aportes pueden contribuir a que se beneficien las organizaciones como la Municipalidad de Huamanga y Gobierno Regional de Ayacucho para que realicen proyectos de prevención ante fenómenos naturales.

1.4.3. Justificación institucional

Así mismo es conveniente para la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, dado que tiene como parte de sus planes la investigación científica.

1.4.4. Justificación personal

Es conveniente para toda la Región de Ayacucho, ya que luego de adquirir conocimiento y experiencia en la elaboración de proyectos a nivel de expedientes técnicos sobre este tema hay mucha dificultad ya que su propuesta de solución no se encuentra en libros y revistas de nuestra localidad que lo cual me motiva a investigarla y publicarla.

1.5 Importancia

Es de suma importancia la protección de la estabilidad de taludes del Cerro de la Picota porque éstas pueden deslizarse ante una gran cantidad de precipitaciones.

La investigación planteada contribuirá a generar una prevención de la estabilidad de taludes ante la presencia de precipitaciones máximas.

Asimismo, los resultados del estudio ayudarán a crear una mayor conciencia entre la población y el Gobierno Regional pueda tener en cuenta esta amenaza de deslizamiento del talud del Cerro de la Picota.

1.6 Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Identificar el potencial de riesgo geodinámico de grandes erosionabilidades y deslizamientos del Cerro de la Picota que afectarían a gran parte del Distrito de Ayacucho y proteger los taludes con la bioingeniería y biotecnología.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Demostrar que las áreas involucradas ante este peligro geodinámico se encuentran amenazadas ante un evento de precipitaciones máximas con la erosionabilidad y deslizamientos inducidos.
2. Describir y estimar los cuantiosos daños económicos que afectarían al Distrito de Ayacucho.

3. Plantear las medidas correctivas de emergencia para mitigar y/o paliar este peligro geodinámico en la zona de estudio del Distrito de Ayacucho.

1.7 Hipótesis

1.7.1. Hipótesis generales

El factor de seguridad de un talud calcula el riesgo geodinámico con un modelo numérico, bien de elementos finitos o de diferencias finitas, reduciendo progresivamente la resistencia al corte de suelos hasta que se produce la rotura del mismo.

1.7.2. Hipótesis específicos

1. En caso de máximas precipitaciones, se analizará una componente adicional del talud saturado, tanto para análisis por equilibrio límite como por reducción de la resistencia al corte. Para ello se introduce un parámetro físico del material involucrado (peso unitario saturado) en la base del modelo y condiciones de contorno y se simula el comportamiento del talud.
2. La evaluación de cuantiosas pérdidas físicas y económicas ante este evento geodinámico, se hará en base a la información cartográfica y demográfica.
3. La evaluación de medidas correctivas se plantearán como prevención y/o mitigación a corto, mediano y largo plazo.

1.8 Variables e indicadores

Dados los cruces que consideran las subhipótesis, para obtener los datos que, al ser trabajados, permiten contrastar esas subhipótesis, en esta investigación se requiere obtener los datos de los dominios de las siguientes variables:

1.8.1. Variable independiente

Aquellas que se consideran las causas. Se identifica siempre una variable cuya magnitud o característica se relaciona con otra a la cual afecta.

Las variables independientes objeto de estudio en la tesis son:

Variables 1.

1. Resistencia al corte del sistema suelo-raíz (τ_f).
2. Factor de seguridad.

1.8.2. Variable dependiente

Son aquellas que dependen de la acción (intensidad o característica) de la variable independiente. Las variables dependientes para la presente tesis son:

Variables 2.

1. Cohesión aparente aportada por las raíces (c_R).
2. Propiedades mecánicas del suelo.

1.8.3. Indicadores

Al referirnos a los conceptos indicamos que estos no son observables directamente. Por lo tanto, se deben buscar procedimientos que permitan la medición indirecta mediante manifestaciones externas, empíricas y observables. Tales manifestaciones o expresiones reciben el nombre de indicadores.

En resumen se tiene la siguiente tabla:1.1.

Tabla 1.1. Variable e Indicadores

	Variab	Indicadores	Medición
Independiente	1.- Resistencia al corte del sistema suelo raíz (τ_f)	Esfuerzo normal debido al peso del suelo	KN/m2
		Presión de poros	KN/m2
	2. Factor de seguridad	Pendiente del talud	%
		Tipo de suelo	-
Dependiente	1.- Cohesión aparente aportada por la raíz (c_R)	Resistencia cortante de las raíces	Kpa
		Peso específico del suelo	KN/m3
	2.- Propiedades mecánicas del suelo	Ángulo de fricción interna	°
		cohesión efectiva del suelo	KPa

Fuente: Elaboración propia

1.9 Unidad de análisis

La unidad de análisis en específico es exactamente por la cruz en el Cerro de la Picota, la pendiente que abarca desde la cruz hasta la carretera Ayacucho-Lima.

1.10 Metodología de investigación

1.10.1. Tipo y nivel de investigación

El trabajo de tesis se basa en un enfoque de investigación **descriptiva** porque consiste fundamentalmente en medir específicamente con el factor de seguridad el comportamiento del talud del Cerro de la Picota en sus diferentes comportamientos y características del

material del suelo; y es **aplicativo** porque plantea resolver los problemas del deslizamiento del talud del Cerro de la Picota con la aplicación de la bioingeniería y biotecnología.

Según la investigación ofrece una o varias explicaciones posibles de un hecho, en este nivel se busca la causa de un fenómeno, teniendo en cuenta su contexto práctico y teórico y sin olvidar las interrelaciones entre los distintos elementos de análisis.

1.10.2. Diseño de la investigación

La aplicación de “Técnicas de bioingeniería y biotecnología en las taludes del Cerro de la Picota-Huamanga-Ayacucho” específicamente se encuentra en la pendiente que forma debajo de la cruz que actualmente también se encuentra el canopy ¹.

El análisis de la estabilidad del talud se realiza con el software Geostudio, para los datos de sus parámetros de entrada se hizo un calicata en el lugar de Lopez Pampa que delimita por el norte con Cruz Pata, por el sur Pueblo Libre y por el oeste con Puca Puca, también podemos mencionar que se encuentra en la parte superior que forma la microcuenca del Jr. San Martín del Distrito de Ayacucho, de este calicata se toma la muestra del suelo para luego hacer los ensayos de corte directo en un laboratorio de mecánica de suelos para obtener los datos del peso específico, ángulo de fricción y la cohesión.

El comportamiento del acción de las raíces con el suelo se comprobará con el modelo numérico del software GeoStudio.

¹Deporte de aventura



2

Marco teórico

2.1 Vegetación y bioingeniería

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatida en los últimos años; el estado del arte actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación ¹ y fallas subsuperficiales.

Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación, en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores importantes se sugiere analizar los siguientes: Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.

El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales. En primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

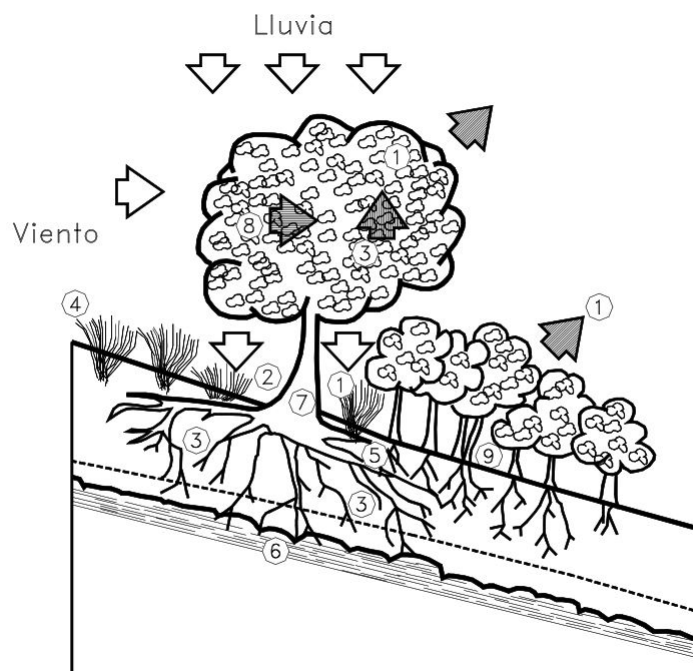
Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo, al tomar el agua que requiere para vivir (Figura: 2.1). [2]

Factores:

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumentan el peso sobre el talud.

¹Movimiento de deslizamiento de los materiales situados en una pendiente.

Figura 2.1. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera.



Fuente: Adaptado de: [2]

8. Transmiten al suelo fuerza del viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

La deforestación puede afectar la estabilidad de un talud de varias formas:

1. Disminuyen las tensiones capilares de la humedad superficial.
2. Se elimina el factor de refuerzo de las raíces.
3. Se facilita la infiltración masiva de agua.

La quema de la vegetación aumenta la inestabilidad de los taludes, especialmente si esto ocurre en áreas de coluviones ² en los cuales la vegetación ejerce un papel preponderante en la estabilidad, especialmente por la eliminación del refuerzo de las raíces y por la exposición a la erosión acelerada.

2.1.1. Características de las plantas y del suelo fértil

Las diferentes partes de una planta cumplen funciones específicas desde el punto de manejo geotécnico (Tabla: 2.1).

Las raíces cumplen una función muy importante de absorción. Grandes cantidades de agua son absorbidas por las plantas junto con minerales y productos que la planta requiere para su alimentación.

Los principales factores que determinan el desarrollo de las raíces son:

²es un aluvión constituido por los granos más finos del limo y de la arena, transportados a corta distancia por la arroyada difusa

1. Disponibilidad de nutrientes en el suelo.
2. Disponibilidad de oxígeno.
3. Contenido de Humedad.
4. Succión o presión osmótica.
5. Temperatura del suelo.
6. Niveles de toxinas y elementos patogénicos.
7. Sistema de poros.

Tabla 2.1. Componentes de la planta y sus funciones

Parte de la planta	Función
Raíz	Anclaje, absorción, conducción y acumulación de líquidos.
Tallo	Soporte, conducción y producción de nuevos tejidos.
Hojas	Fotosíntesis, transpiración.

Fuente: Adaptado de: [2]

De los anteriores elementos, el más importante es posiblemente la disponibilidad de oxígeno en el suelo.

El tronco soporta los órganos fotosintéticos y reproductivos, especialmente las hojas. La estructura de la hoja muestra dos partes: superior e inferior, que cumple un objetivo muy importante para la vida de la planta.

La habilidad de un suelo para sostener el crecimiento de las plantas depende de su habilidad para proveer nutrientes, agua y oxígeno. Físicamente un suelo mineral es una mezcla de partículas inorgánicas, materiales orgánicos, aire y agua. Las propiedades químicas del suelo le dan a este la habilidad de crear ambientes que faciliten el crecimiento de la vegetación. La fertilidad depende de la disponibilidad de nutrientes y estos de los microorganismos que continuamente están trabajando para transformar los materiales orgánicos. Los materiales orgánicos representan entre 3 y 5 % del peso de un suelo orgánico típico. Las condiciones de acidez o PH del suelo son un factor determinante para el crecimiento de muchas especies vegetales.[2]

2.1.2. Efectos hidrológicos de la vegetación

La vegetación afecta las condiciones hidrológicas de un talud de varias formas:

2.1.2.1. Intercepción de la lluvia

La lluvia se divide en dos partes, la lluvia que cae directamente sobre el suelo y la lluvia que es interceptada por el follaje de la vegetación. [3]

$$Lluvia\ Interceptada = Lluvia * area\ Follaje \quad (2.1)$$

Dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60 % del total de la lluvia anual.

Parte de la lluvia interceptada es retenida y evaporada y parte alcanza finalmente, la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos. Es importante determinar el tiempo entre la lluvia y el goteo para analizar el efecto hidrológico de cada tipo de vegetación. [4]

2.1.2.2. Retención de agua

La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye el agua de escorrentía ³ disminuyendo su poder erosivo, pero puede aumentar la infiltración. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de la lluvia.

Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, demoran más el ciclo hidrológico en razón de que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia. En el caso de lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30 %, dependiendo de las características de la vegetación. [2]

El clima determina el efecto relativo de la vegetación para prevenir deslizamientos en los climas en los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y en áreas de clima árido la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos.[5]

2.1.2.3. Acumulación de agua

Parte del agua retenida es acumulada en el follaje para luego ser evaporada. Algunas especies vegetales como el maíz poseen espacios importantes para almacenamiento de agua. Existe experiencia con especies vegetales, la cual permite determinar el volumen total de agua acumulada, teniendo en cuenta la densidad de área total y el volumen del follaje.[2]

2.1.2.4. Goteo o flujo por el follaje

El agua retenida no acumulada retorna a la tierra por goteo o flujo, por el follaje. La rapidez de flujo depende de la aspereza de las superficies de las hojas y tronco y los diámetros y ángulos de las hojas con la vertical (Figura: 2.2). [2]

2.1.2.5. Evapotranspiración

La evapotranspiración es un efecto combinado de evaporación y transpiración. Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación en un determinado tipo de suelo, tiene un determinado potencial de evapotranspiración y se obtiene generalmente, una humedad de equilibrio dependiendo en la disponibilidad de agua lluvia y nivel freático.

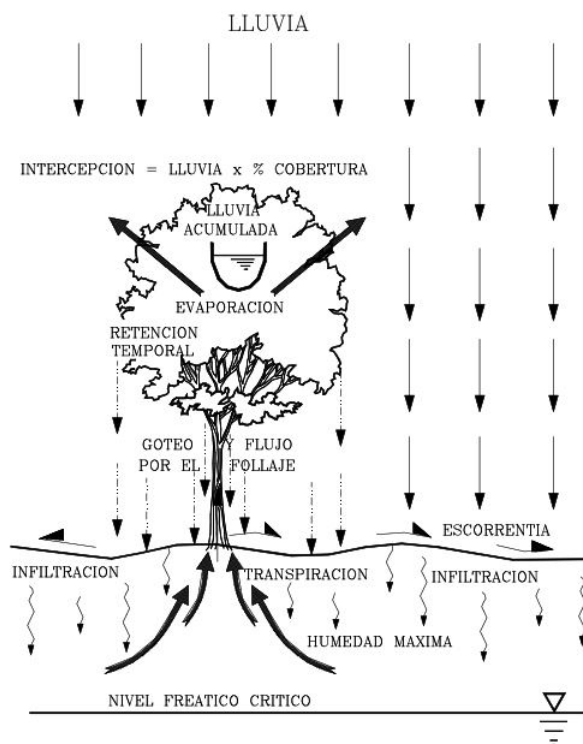
El reporte que la capacidad de una planta para consumir humedad del suelo depende del tipo y tamaño de la especie, clima, factores ambientales y características del suelo. [6]

La estimación de capacidades de evapotranspiración hasta de un metro cúbico por metro cuadrado por año, en bosques primarios en Europa [7], y el reporte de evapotranspiraciones de más de 100 milímetros por mes, en Hong Kong. En climas tropicales los volúmenes de evapotranspiración son generalmente, mayores que en zonas con estaciones.[6]

La evapotranspiración puede medirse utilizando la relación entre la evapotranspiración de la superficie cubierta por plantas y la de un cuerpo de agua expuesto (E_t/E_o). Los valores de E_t/E_o dependen de las condiciones ambientales y de la variedad de planta, de acuerdo a la Tabla: 2.2. Estos valores corresponden al potencial de evapotranspiración en el momento en que la humedad del suelo es alta. A medida que disminuye la humedad del suelo, la evapotranspiración disminuye.

³Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

Figura 2.2. Esquema del efecto de la vegetación sobre el modelo hidrológico subsuperficial.



Fuente: Adaptado de: [2]

Tabla 2.2. Valores de Et/Eo para diversas coberturas vegetales

Especie vegetal	Relación Et/Eo
Eucalipto	1.50
Arroz	1.35
Palma de aceite	1.20
Cacao	1.00
Bosques	0.90
Ficus	0.90
Pastos	0.80
Papa	0.70
Caña de azúcar	0.73
Banano o plátano	0.70
Maíz	0.67
Algodón	0.63
Café	0.50

Fuente: Adaptado de: [2]

La evapotranspiración profundiza los niveles de aguas freáticas y al mismo tiempo puede producir asentamientos de suelos arcillosos blandos y agrietamientos por desecación. El área de influencia depende de la extensión y profundidad del sistema radicular. Durante un día soleado un Eucalipto puede extraer del suelo hasta 500 litros de agua y un pasto hasta un litro por metro cuadrado [8].

Los árboles espaciados cercanamente y las hierbas extraen más agua que los pastos. La clave desde el punto de vista de ingeniería es determinar la humedad máxima y el nivel freático crítico para un talud determinado, teniendo en cuenta el efecto de la vegetación. El balance de la infiltración y la evapotranspiración produce una determinada humedad, la cual debe compararse con la humedad requerida para saturación. Debe tenerse en cuenta que en un suelo al saturarse se disminuyen las fuerzas de succión o presiones negativas de agua de poros, las cuales ayudan a la estabilidad. En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación mejorando la estabilidad de las laderas. [2]

2.1.3. Control de erosión

El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todo tipo de vegetación. El reporte de ratas de erosión de 12 toneladas de suelo por hectárea en Malasia, en el primer año, después de cortado un bosque tropical. Las ratas de erosión aumentan con el tiempo, a medida que las raíces se descomponen. [9]

La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

En lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha encontrado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos. Resultados similares son reportados por en Malasia, concluyendo que la mejor protección contra la erosión y los deslizamientos, se obtiene estableciendo conjuntamente todos los sistemas de vegetación, incluyendo los musgos y demás variedades. No hay mejor evidencia que mirar la naturaleza y observar como se conserva y protege ella misma (Figura: 2.3). [10]

2.1.4. Características de las raíces

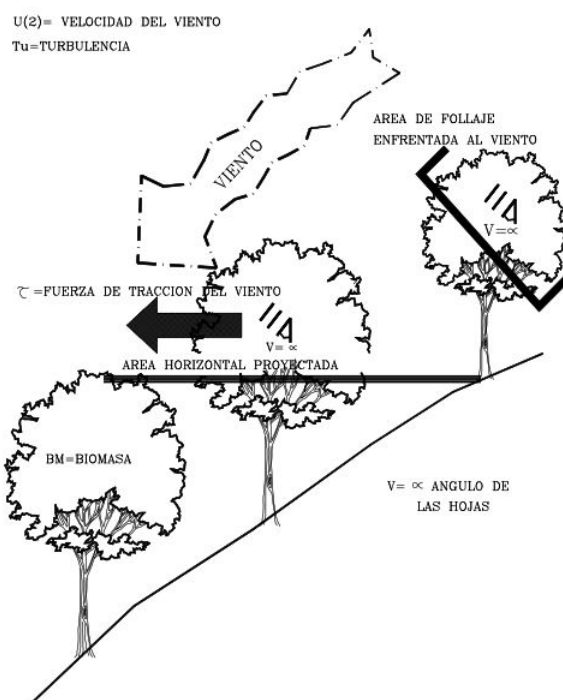
Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente.

La profundidad de las raíces generalmente, no supera los cinco metros en árboles grandes, dos metros en los arbustos y 30 centímetros en los pastos; Aunque se han reportado casos de raíces de árboles de más de 30 metros de profundidad [11]. La extensión lateral del sistema radicular generalmente, es mayor que su profundidad y en algunos casos superan los 50 metros de longitud (Figura: 2.4).

Algunas plantas [12] poseen un sistema de raíz “extensivo”, en el cual las raíces alcanzan profundidades o extensiones grandes, mientras otras forman un sistema “intensivo” con raíces más cortas y finas. La forma de las raíces puede presentar tres esquemas diferentes así:

1. Raíz de extensión lateral
2. Raíz de extensión radial.

Figura 2.3. Esquema de la fuerza de tracción del viento.



Fuente: Adaptado de: [2]

3. Raíz pivotante.

Consiste en una raíz vertical profunda centrada con ramificaciones de raíces pequeñas. Generalmente las raíces pivotantes alcanzan profundidades mayores que las raíces laterales o radiales. Estas raíces son muy efectivas para la estabilización de deslizamientos poco profundos.

Las raíces de diámetro menor a 20 milímetros son las más importantes para la estabilidad de un talud que las raíces de mayor diámetro. [13]

Otro factor que contribuye a la resistencia del sistema suelo- raíces es la densidad de raíces por volumen de suelo.

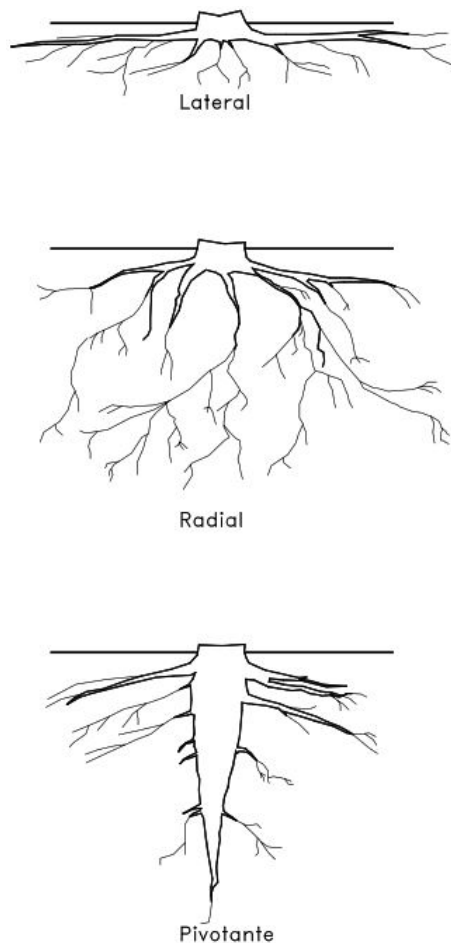
La longitud de las raíces y su profundidad deben evaluarse para determinar su efecto sobre la estabilidad de un talud. El tamaño medido de las raíces de un pino Monterrey de 25 años y encontraron que mientras la raíz se extendía lateralmente 10.4 metros, alcanzaba una profundidad máxima de solamente 3.10 metros y un promedio de 2.4 metros. [14]

A experiencia del Autor muestra que en la mayoría de los casos, la extensión lateral de las raíces es mucho mayor que la profundidad, con excepción de las raíces pivotantes, las cuales a su vez no son muy profundas. En este orden de ideas, el anclaje de las raíces es principalmente paralelo a la superficie del terreno. Sin embargo, no debe desestimarse la penetración de las raíces en las fisuras de la roca, anclando el suelo superficial o el efecto de anclaje en los dos primeros metros de suelo.

Se ha encontrado que la longitud de las raíces es mayor cuando el árbol se encuentra en un suelo bien drenado granular que cuando se encuentra en un suelo arcilloso.

Aparentemente, este efecto se debe a la necesidad que el árbol tiene de buscar agua, en el

Figura 2.4. Tipos de Raíz.



Fuente: Adaptado de: [2]

caso de que el drenaje sea bueno.

Ante la dificultad de poder determinar con precisión la longitud de raíz, debido a la poca información existente sobre las características radicales de las diversas especies, se puede tomar como regla general que la raíz se extiende lateralmente 1.5 veces el radio de la corona del follaje, aunque debe tenerse en cuenta que en algunos casos, las raíces pueden extenderse hasta 22 veces el radio de la corona. [15]

Otro factor muy importante es el número de raíces por unidad de área y su diámetro, el cual puede evaluarse como una relación de áreas raíz-suelo en un plano determinado de falla. Un sistema de recolección de información consiste en tomar muestras de suelo con raíces y por un sistema de tamizado separar las raíces de suelo y con la comparación de los volúmenes, determinar la relación raíz-suelo. Otro sistema podría consistir en dibujar en la pared de un apique, utilizando papel de acetato, las áreas de raíz y evaluar la relación.

2.1.4.1. Resistencia del sistema suelo - raíces

En la literatura se encuentran informes contradictorios, relacionados con el efecto de las raíces sobre la resistencia al cortante de los suelos; Mientras Gray observa que las raíces aumentan la resistencia al cortante por incremento de la cohesión aparente del suelo, reportando incrementos de resistencia hasta de 3 a 4 veces [16], Yagi y otros encontraron

en pruebas de laboratorio que no existe prácticamente ninguna variación en el ángulo de fricción y la cohesión por la presencia de raíces o el aumento del porcentaje volumétrico de raíces en el suelo [17].

Sin embargo, Gray y Ohashi indicaron que la orientación de las raíces a un ángulo de 60 grados con la superficie de cortante aumenta a un máximo la resistencia al cortante, equivalente a la dirección principal de tensión, lo cual se entiende como una resistencia generada por la tensión en las raíces [18].

Las raíces de árboles y arbustos poseen un comportamiento a la tensión con un bajo módulo de elasticidad y según Gray y Ohashi no se rompen durante el proceso de corte del suelo; Sin embargo, ensayos realizados con raíces en Colombia muestran deformaciones a rotura muy compatibles con el comportamiento al cortante de los suelos en la mayoría de las raíces ensayadas, especialmente en raíces con diámetro superior a 1 mm [18].

El porcentaje de deformación a la rotura disminuye al aumentar el diámetro en la mayoría de las especies ensayadas.

La resistencia promedio a la tensión de las raíces depende de las características y estructura de la planta y pueden variar desde 1300 p.s.i. hasta 7000 p.s.i. [19], [20] y [21].

Las raíces de mayor diámetro dan generalmente, menores valores de resistencia a la tensión, en las mismas condiciones; Sin embargo al realizar pruebas con raíces de diferente árbol pero del mismo tipo o variedad, los resultados de resistencia a la tensión pueden variar hasta en un 50 %, lo cual dificulta la asignación de una resistencia específica para elaborar un modelo matemático.

La relación entre la resistencia a la tensión de la raíz y su diámetro puede expresarse en la forma de una simple ecuación logarítmica:

$$T_r = n * D^m \quad (2.2)$$

Donde :

T_r = Resistencia a la tensión de la raíz

D = Diámetro

n y m = constantes empíricas que se deben determinar para cada especie de árbol

La edad del árbol y sus condiciones ambientales (clima, humedad, suelo, etc.) producen un cambio importante en la resistencia a la tensión de las raíces. Suyama reporta que las raíces individuales aumentan su resistencia a medida que ellas son más largas. Los ensayos de resistencia a la tensión en raíces han sido difíciles, debido a que se tienen problemas con las mordazas en razón de que la piel de las raíces o las fibras exteriores tienden a deformarse, independientemente de las fibras interiores y las mordazas tienden a soltarse [22].

Para facilidad en el empleo de modelos sistematizados de análisis se utiliza la metodología siguiente:

1. Se determina el espesor de la capa de suelo con raíces.
2. Se hace un análisis de número de raíces por unidad de área, diámetros y resistencia y se obtiene la resistencia a la tensión de las raíces por unidad de área de suelo.

Tabla 2.3. Resumen de resultados de pruebas de resistencia de raíz individuales

Especies	Prueba	Diámetro de la raíz ^a (mm)			Fuerza de la raíz ^b (MPa)		
		Min	Max	Media	Min	Max	Media
C. Glauca	Extraer	0.56	17.23	4.49	3.34	81.68	22.43
	Tensión	0.36	10.52	3.74	16.78	136.79	49.59
E. Amplifolia	Extraer	0.45	16.43	5.00	8.88	130.65	27.33
	Tensión	0.23	6.15	2.56	11.79	118.03	55.39
E. Elata	Extraer	0.21	15.93	4.85	8.57	198.06	31.49
	Tensión	0.21	7.73	2.95	15.69	198.06	56.74
A. Floribunda	Extraer	0.31	13.33	4.09	11.19	217.89	58.09
	Tensión	0.29	6.93	3.04	29.88	190.15	85.14

Fuente: Adaptado de: [23]

^a El diámetro de la raíz se mide en la superficie del suelo para las pruebas de extracción y en el punto de ruptura para pruebas de tensión.

^b La fuerza de la raíz se calcula como la fuerza requerida para inducir la falla de la raíz dividido por el área de la sección transversal de la raíz.

3. Se realizan ensayos de tensión y de deformación de raíces para determinar que diámetros de raíces no se deben tener en cuenta en el análisis (de acuerdo a su % de deformación a rotura).
4. Se calcula la fuerza a la tensión de las raíces por unidad de área de suelo.

$$F_r = \sum a_r * f_r \quad (2.3)$$

a_r : Área neta de raíces (Tomada de la relación de raíz-suelo).

F_r : Resistencia a la tensión de la raíz (de acuerdo a la variedad vegetal).

5. La fuerza de tensión puede analizarse como una fuerza neta de anclaje horizontal o puede convertirse en cohesión aparente (C_r), adicionándose a la cohesión del suelo.

Otro elemento importante es la resistencia de la raíz al arrancamiento. En pruebas de arrancamiento en campo, generalmente la raíz se rompe y no se deja arrancar y al observar fallas de arrancamiento por fuerza del viento, en la mayoría de los casos, el suelo es arrancado conjuntamente con la mayor parte del sistema radicular y la falla a rotura de las raíces ocurre sobre una superficie en la cual la densidad de raíces es menor y solo en raras ocasiones las raíces profundas son arrancadas.

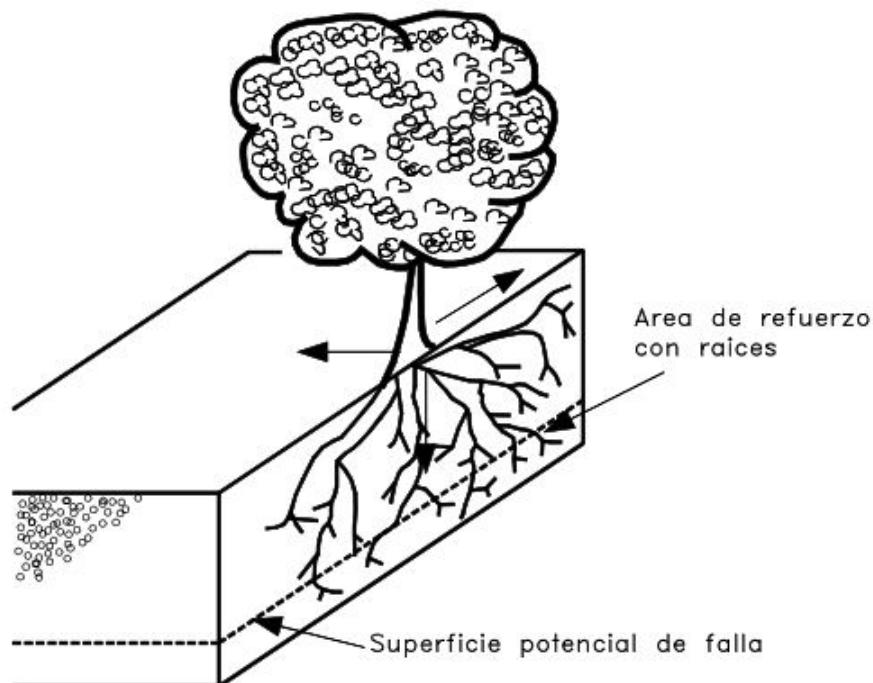
2.1.5. Acción de refuerzo de las raíces

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades. Sidle explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas [24]:

1. Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.

2. Formar una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
3. Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud. Las raíces actúan como pilas de refuerzo.
4. La resistencia a la tensión de las raíces puede ser hasta el 30 % de la del acero, según Schiechtl pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud [7].
(Figura: 2.5)

Figura 2.5. Refuerzo de superficie de falla por las raíces de los árboles.



Fuente: Adaptado de: [2]

Una clasificación del refuerzo de taludes con las raíces de los árboles fue propuesta por Tsukamoto y Kusakabe [25]:

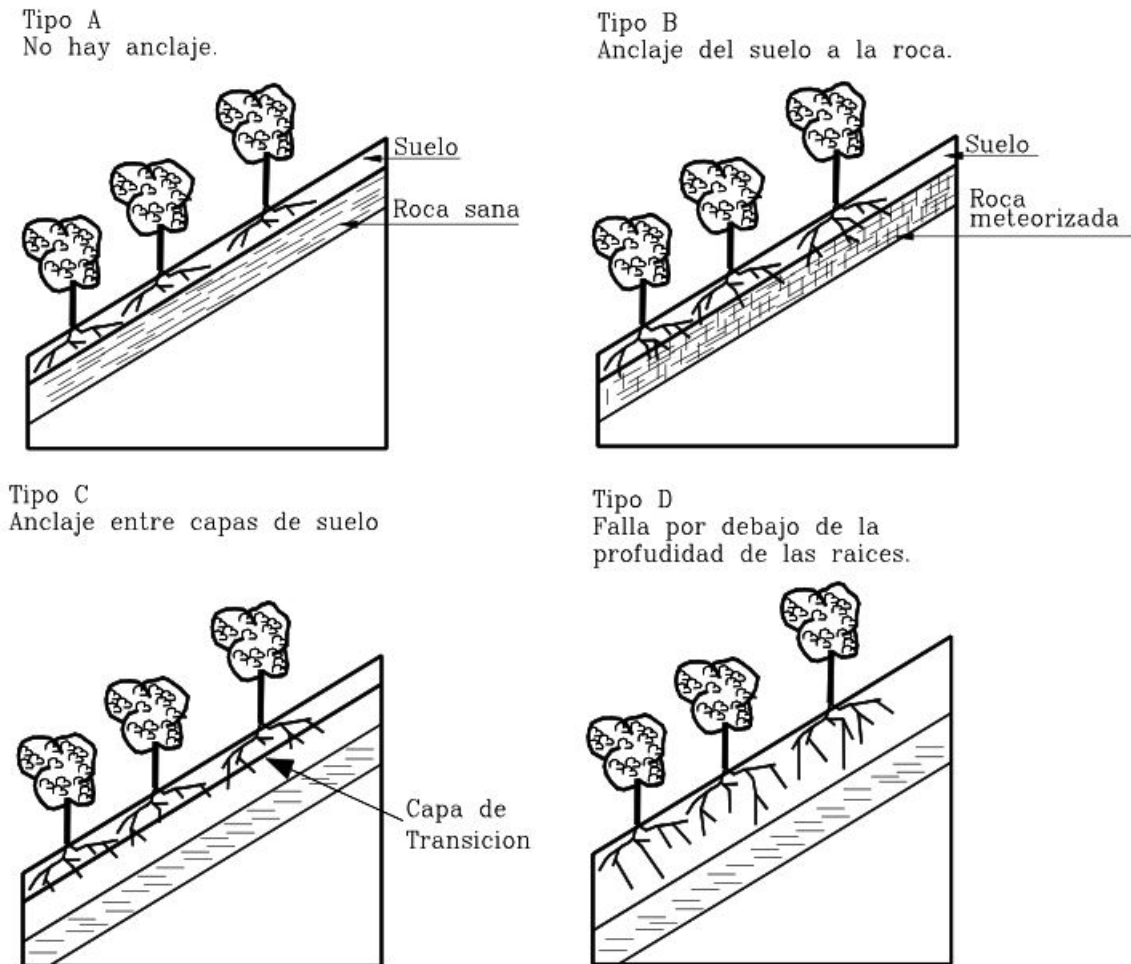
TIPO A: Taludes que poseen una capa muy delgada de suelo sobre roca masiva y sin defectos que permitan puntos de anclaje para las raíces y una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca.

TIPO B: Una capa delgada de suelo sobre una roca con fracturas o defectos que permiten la entrada y anclaje de las raíces.

TIPO C: Varias capas de suelo y las raíces penetran normalmente las interfaces reforzando los contactos entre las diversas capas.

TIPO D: Taludes con una capa gruesa de suelo y raíces a profundidades superiores a las de las superficies potenciales de falla (Figura: 2.6).

Figura 2.6. Tipos de anclaje de la superficie de falla por acción de las raíces (Tsukamoto y Kusakabe)



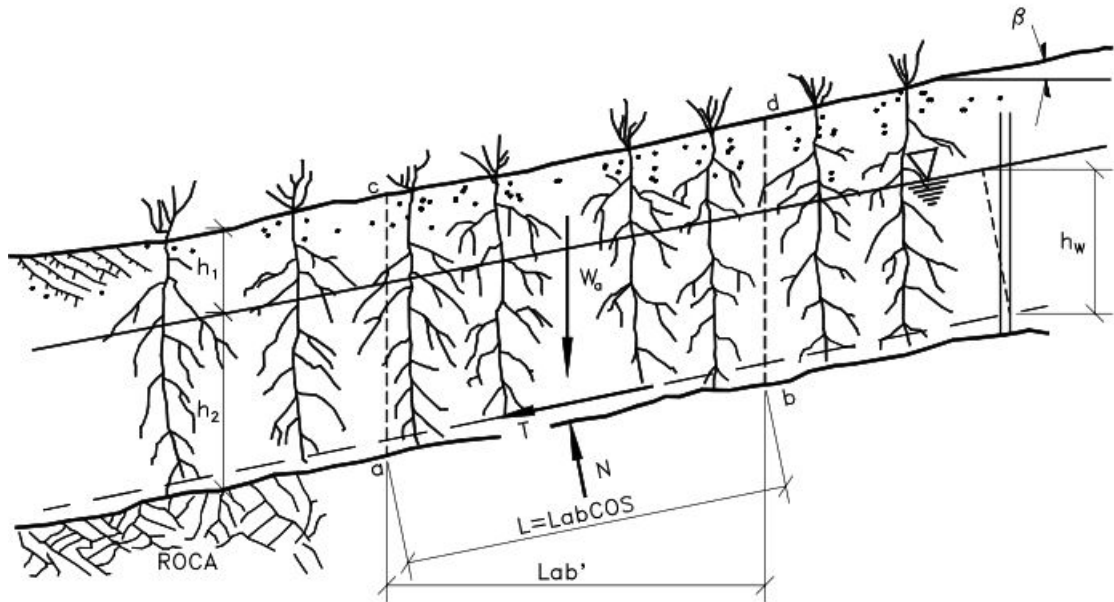
Fuente: Adaptado de: [2]

La profundidad de las raíces es un factor muy importante. La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 20 centímetros comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos.

Se conoce de Eucaliptus con raíces hasta de 27 metros y raíces de bosque tropical hasta de 30 metros de profundidad, pero la mayoría de los árboles tienen raíces de profundidad hasta de tres metros y esta es la profundidad hasta la que puede confiarse un refuerzo con raíces [6](Figura: 2.7).

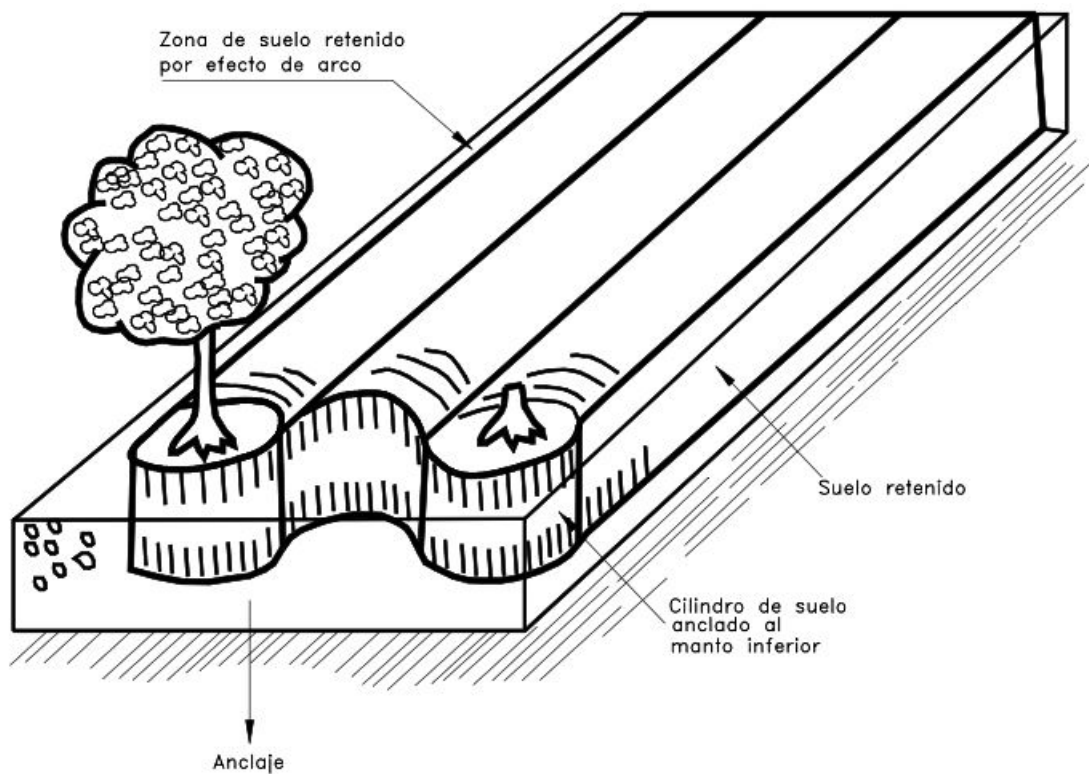
Un factor importante de la estructura radicular es su efecto de unir los grupos de partículas, impidiendo la ocurrencia de pequeños deslizamientos. Ensayos realizados por Campos demuestran que las raíces aumentan la cohesión de muestras de suelo en una proporción importante [26] (Figura: 2.8).

Figura 2.7. Fuerza de anclaje de arbustos y hierbas de raíz profunda (Bache y Mackaskill 1984).



Fuente: Adaptado de: [2]

Figura 2.8. Efecto de arco de la vegetación.



Fuente: Adaptado de: [2]

Para reducir el riesgo de movimientos, el espaciamiento de los árboles debe ser lo más cercano posible. Un árbol junto a otro puede generar un efecto de arco, sin embargo, no se requiere necesariamente que las raíces se entrelacen y el efecto de arco puede lograrse con separaciones de raíces de hasta 3 metros dependiendo de las características del material del talud [20]. Una separación de 10 metros entre árboles de grandes raíces produce soporte sustancial en la mayoría de los casos.

2.1.5.1. Efecto de anclaje

Un efecto positivo muy importante es el “anclaje” de masas de suelo por las raíces. Las características físicas de las raíces determinan el efecto de anclaje o refuerzo del suelo y la densidad del sistema radicular mejora la retención de las partículas o masas de suelo, aumentando la resistencia a la erosión.

El fenómeno del efecto de refuerzo de las raíces debe estudiarse en una forma global analizando la superficie de falla al cortante de un talud, pudiéndose observar dos elementos principales:

1. La movilización de la resistencia a la tensión de las raíces por efecto de anclaje de las raíces a materiales más resistentes. Este efecto es muy importante en perfiles de poco espesor de suelos residuales en los cuales las raíces se anclan en la roca o en los materiales menos meteorizados.
2. La profundización de la superficie crítica de falla a profundidades por debajo del volumen de presencia densa de raíces. Este efecto es importante en perfiles de suelo de gran espesor.

2.1.5.2. Efectos de la deforestación

Los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de los taludes puede no ser inmediata. Inicialmente se produce un cambio hidrológico y un aumento de la erosión superficial y de la infiltración, pero los efectos desastrosos se observan, cuando la infraestructura radicular original se descompone, generalmente entre 2 a 5 años después de la deforestación.

Bache en 1984 reportó que en árboles de raíces profundas a los 30 meses después de la deforestación, la resistencia a la tensión de las raíces disminuyó entre 65 y 86 % dependiendo de la especie. Las raíces más pequeñas que son las que tienen mayor resistencia a la tensión o al arrancamiento son las primeras en descomponerse. La rapidez con que se descompone depende de la especie de árbol y de las condiciones del sitio y del suelo[27].

De acuerdo con O’Loughlin y Watson en 1979, la tensión en el proceso de descomposición puede determinarse por la expresión [28]:

$$T_{rt} = T_{r0} * e^{-bt} \quad (2.4)$$

Donde:

T_{rt} = Tensión de las raíces un tiempo t después cortado

T_{r0} = Tensión de las raíces con un árbol vivo

b = Probabilidad de descomposición

t = Tiempo desde el momento del corte

Las tasas de deforestación en los países tropicales son muy altas y son muy escasos los programas de recuperación de estas áreas. Si la vegetación de raíz profunda es removida, se reducen las tensiones capilares y se eleva el nivel de agua freática dentro del talud.

2.1.6. Mecanismo de reforzamiento del suelo y estabilización de taludes por las raíces de los árboles.

En la práctica ingenieril es ampliamente aceptado que las raíces actúan como un sistema de refuerzo aumentando la resistencia al corte de los suelos, cuya influencia puede ser expresada como una cohesión “aparente” adicional en términos del criterio de falla de Coulomb [29]. De esta manera, la resistencia al corte del sistema suelo-raíz puede ser expresado mediante la siguiente ecuación (2.5):

$$\tau_f = c' + c_R + (\sigma - \mu) \tan \phi' \quad (2.5)$$

Donde:

τ_f = resistencia al corte del sistema suelo-raíz

c' = cohesión efectiva del suelo

c_R = cohesión “aparente” aportada por las raíces

σ = esfuerzo normal debido al peso del suelo

μ = presión de poros

ϕ' = ángulo efectivo del suelo

Wu et al (1979) propuso la siguiente relación para estimar la cohesión “aparente” aportada por las raíces en función del tensil total de esfuerzo de las raíces (T_R) (2.6):

$$c_r \cdot T_R \text{ con } T_R = \sum_{i=1}^n t_{ri} \cdot \left(\frac{A_{ri}}{A_s} \right) \quad (2.6)$$

Donde $\left(\frac{A_{ri}}{A_s} \right)$ corresponde al coeficiente entre la sección de la raíz interceptada por la superficie de falla (A_{ri}) y la sección del suelo potencialmente inestable (A_s), y n es el número de raíces existentes en la sección A_s (Figura:2.9).[30]

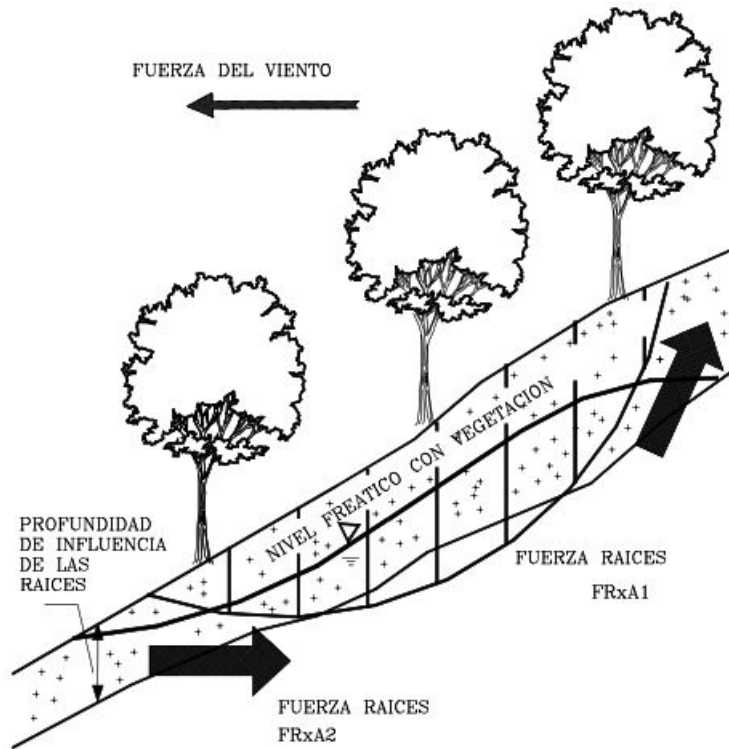
Las ecuaciones 2.3 y 2.6 son iguales con diferentes variables y diferentes autores.

2.1.7. Estimación de la cohesión “aparente” generada por las raíces de los árboles

Para llevar a cabo los análisis de estabilidad de taludes se requiere la estimación de la cohesión “aparente” de las raíces (c_R), para la cual existen diferentes metodologías. Dentro de ellas, se pueden mencionar las siguientes: a partir de ensayos de corte directo realizados in situ a diferentes escalas sobre sistemas suelo-raíz particulares; mediciones del diámetro de las raíces y de su resistencia; “back-análisis” en taludes forestados que presentaron inestabilidades mecánicas; y modelos de resistencia e información de la densidad de las raíces.[2]

A partir de antecedentes bibliográficos y considerando el sistema radiado que presentan las especies arbóreas del sector, se ha adoptado un rango de valores para la cohesión “aparente” de las raíces (c_R) comprendido entre 1.0 y 20 KPa, de acuerdo a los valores propuestos por O’loughlin C. & Ziemer .[31]

Figura 2.9. Esquema del análisis propuesto para calcular el factor de seguridad teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.



Fuente: Adaptado de: [2]

Según el análisis de O'loughlin C. & Ziemer se tiene los parámetros de resistencia al corte de suelos con y sin raíces competentes [31] como muestra la (Tabla: 2.4)

Tabla 2.4. Parámetros de resistencia al corte

Descripción	Bosque intacto con raíces competentes	Campo claro y sin raíces competentes
Cohesión aparente	6.6 KPa	3.3 KPa
Ángulo de fricción interno	36°	36°

Fuente: Adaptado de: [31]

2.1.8. Diseño de revegetalización

La revegetalización de un talud ayuda a controlar la erosión y ayuda a aumentar el factor de seguridad. Por esta razón cada día se utiliza más la vegetación en la estabilización de taludes. El efecto de la vegetación es una interacción compleja entre factores hidrológicos y mecánicos de difícil cuantificación.

El establecimiento de vegetación no es fácil y deben realizarse consideraciones especiales para su diseño, sin embargo, todo Diseñador debe considerar la vegetación como el sistema básico de estabilización para los taludes en suelo o roca meteorizada (Grados IV, V y VI).

Un caso específico de estabilización de taludes utilizando revegetalización, es el desli-

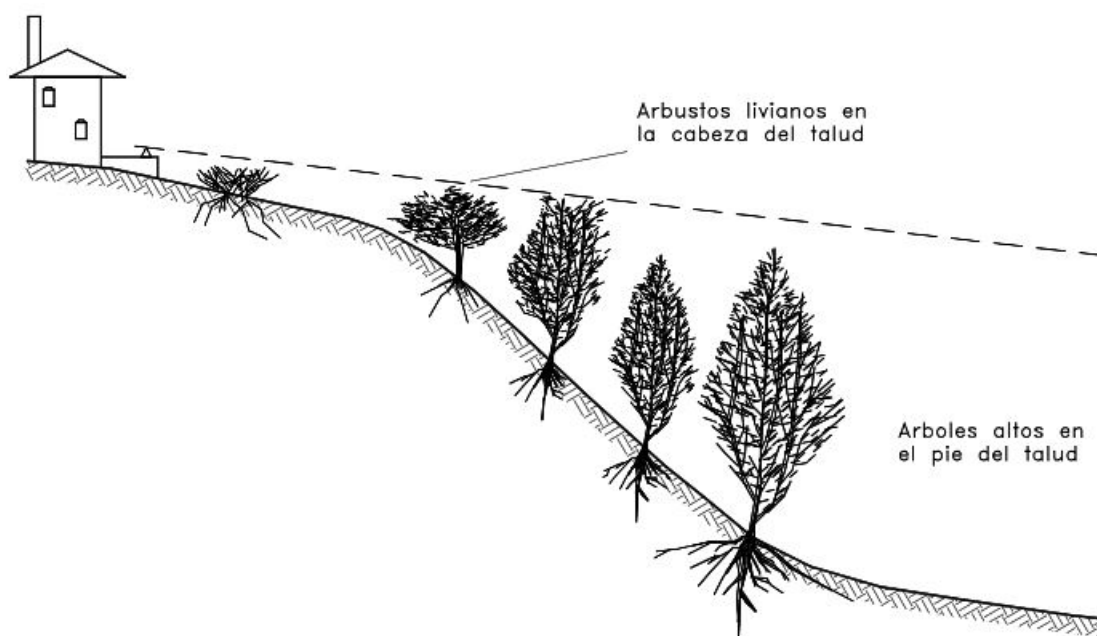
zamiento de Cucaracha en el corte Gaillard en el Canal de Panamá. El deslizamiento histórico de cucaracha se reactivó en 1986, bloqueando prácticamente el canal.[32]

Como parte de un programa combinado de estabilización se plantaron 60.000 árboles de rápido crecimiento tales como Acacios y Gomelinas . [33]

Generalmente el proceso de revegetalización de taludes se ha concentrado en el uso de pastos olvidándose de los arbustos, hierbas y árboles. Como regla general nunca debe plantarse una sola especie sino una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original.

Se debe considerar, además, el manejo apropiado de las técnicas de vegetación para ayudar en el proceso natural de sucesión (Figura:2.10).

Figura 2.10. Elementos de arquitectura y paisajismo en el diseño de revegetalización.



Fuente: Adaptado de: [2]

2.2 Biotecnología en las taludes del Cerro de la Picota

La biotecnología refiere a las técnicas donde la vegetación combinada con estructuras inertes de ingeniería como los muros en suelo reforzado, mantos de control de erosión, geoestructuras se combinan con los efectos benéficos de la vegetación. Ambos elementos biológicos y mecánicos deben funcionar juntos en forma integrada y complementaria, con el fin de evitar el desprendimiento, transporte y depositación del suelo.[34]

Para el análisis de los elementos estructurales se utilizan los principios de la estática, la hidráulica y la mecánica, y para la vegetación se deben tener en cuenta los principios de la ciencia de las plantas y la horticultura. El sistema biotécnico requiere la integración de todas las tecnologías. [34]

La erosión de los taludes es un tema fundamental en la ingeniería civil, puesto que se presenta con frecuencia, es importante tomar la mejor alternativa para el control de este problema, se debe de tener en cuenta que no siempre lo convencional es lo mejor, y atreverse

al uso de nuevas técnicas, un ejemplo claro de esto es la **biotecnología**, que son muy recomendables puesto que contribuyen a la conservación visual y ambiental del entorno.[35] En la necesidad del control de la erosión y viendo la importancia de la capa vegetal para contrarrestar la misma, nace la **biotecnología**, la cual consiste a una serie de técnicas donde las estructuras inertes de ingeniería (muros en suelo reforzado, geoestructuras, etc.) se combinan con los efectos benéficos de la vegetación, ambos elementos biológicos y mecánicos deben funcionar juntos en forma integrada y complementaria. [35]

2.2.1. Generalidades de la biotecnología

Millones de dólares son invertidos todos los años en el mundo para la reconstrucción de taludes, canales y márgenes de ríos, que han sido seriamente erosionados por lluvia, aire y corrientes de agua. El impacto de este daño es devastador para la capa vegetal, para los recursos hídricos y para la vida salvaje.

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), establece un control severo sobre las regulaciones que tienen que ver con control de erosión y el sedimento de suelo, que afecta el 97.5 % de todas las actividades de construcción.

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) a finales del año 2007 autorizó la actualización de sus especificaciones técnicas de construcción donde se incorpora un capítulo (800) de control de erosión y su manejo en taludes. También la dirección del Medio Ambiente del INVIAS, lanza a principios del año la guía de manejo ambiental (PAGA) con el fin de abordar de una manera adecuada los asuntos ambientales y los pasivos ambientales existentes en la zona.

En Latinoamérica, el Grupo Mexichem, basado en su política ambiental y respeto por la protección del medio ambiente, ha puesto todo su interés en la aplicación de geosintéticos y biotecnología para control de erosión, con el fin de disminuir el desprendimiento, transporte y depósito de suelo o roca. [34]

2.2.1.1. Control de erosión

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento.

El proceso erosivo depende de varios factores, como:

1. Intensidad, duración y frecuencia de la lluvia.
2. Geometría del talud.
3. Tipo de suelo.
4. Exposición del talud.
5. Tipo de cobertura vegetal. [34]

El uso de los geosintéticos en los proyectos de control de erosión se ocupa como una medida de mitigación y compensación de impactos ocasionados por el viento y/o agua, logrando el equilibrio deseado entre la vegetación y la construcción. Este objetivo se obtiene mediante la utilización de geomantas, las cuales ayudan a conservar superficialmente la vegetación, y las geomallas y geoceldas para aportar la estabilización interna en taludes y canales, disminuyendo así el desprendimiento, transporte y depósito de suelo o roca. La erosión se intensifica en terrenos con alta pendiente, donde más de la mitad del suelo puede ser arrastrado hacia las partes bajas.

Procesos de erosión sin control pueden causar daños mayores al terreno o estructuras existentes y/o al medio ambiente por lo que resulta de extrema importancia proporcionar el tratamiento adecuado a la superficie. [36]

2.2.1.2. Papel de la vegetación

El papel desempeñado por la vegetación para la protección del suelo contra la erosión es fundamental. La vegetación influencia particularmente el intercambio del agua entre el suelo y la atmósfera, la consolidación y el refuerzo de la capa superficial del suelo, así como la protección del suelo contra el impacto de las gotas de agua.

Por otra parte, la vegetación reduce la velocidad del agua de escorrentía, por lo tanto, disminuye su capacidad de transporte de sólidos. Un sistema de control de erosión alcanza su máxima eficiencia cuando la vegetación está establecida. [34]

2.2.2. Soluciones para el control de erosión

los mantos para el control de erosión non esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantizan la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación.

Para definir el tipo de manto a utilizar, es muy importante analizar las siguientes características: clima, precipitación, geometría del talud (longitud, altura y pendiente), tipo de suelo (caracterización geotécnica, contenido químico, biológico, acidez del suelo. [34]

Los mantos se clasifican de la siguiente manera:

2.2.2.1. Mantos temporales

Este tipo de mantos se utilizan para aplicaciones donde la vegetación natural (por si sola), Provee suficiente protección contra la erosión. Su durabilidad o longevidad funcional, comprende entre 1 a 48 meses, la cual se refleja en la biodegradación o foto degradación del manto.

Al final de la vida útil del manto se espera que la vegetación se encuentre totalmente establecida y pueda resistir por si sola los eventos hidrológicos y climáticos que generan erosión en el suelo.[34]

Ventajas y beneficios:

1. Biodegradación o fotodegradación (Una vez degradado el manto se integra al suelo).
2. Limitan la erosión del suelo.
3. Conservan la humedad del suelo que ayuda a promover la germinación de la semilla.
4. Protegen las semillas y las plantas, permitiendo un mejor establecimiento de la vegetación.

2.2.2.2. Mantos permanentes

Son mantos conformados por fibras sintéticas no degradables, filamentos o mallas procesadas a través de una matriz tridimensional, con estabilización UV y resistentes a los químicos que habitan en el medio ambiente natural del suelo. Este tipo de mantos se instalan donde la vegetación natural, por si sola, no es suficiente para resistir las condiciones de flujo y no provee la protección suficiente para la erosión a largo plazo. Los mantos que se emplean para estos casos tienen las propiedades necesarias mecánicas,

hidráulicas y de desempeño para reforzar la vegetación y proteger el suelo, bajo las condiciones naturales del sitio. Su durabilidad o longevidad funcional va desde los 48 meses hasta los 50 años, aproximadamente.[34]

El uso de mantos en la protección de taludes y en canales genera una protección a corto plazo y un refuerzo de la vegetación a largo plazo. Son una alternativa económica cuando se comparan con otras soluciones, como por ejemplo, el concreto lanzado. [34]

La estructura tridimensional del manto y su fibra única X3 crea una matriz gruesa de vacíos que atrapa la semilla, el suelo y el agua favoreciendo un crecimiento más rápido y más denso de la vegetación.[34]

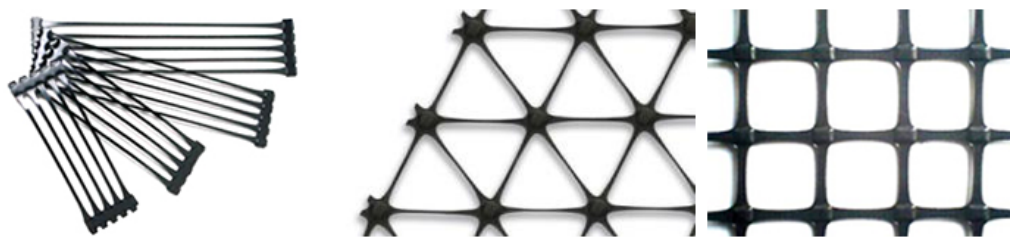
La estructura trilobal de la fibra aumenta en un 40% la germinación de las semillas y asegura el crecimiento vegetal durante los primeros 21 días, proporciona un 60% más de resistencia a la tensión que asegura mayor integridad estructural durante y después de la instalación, 10% más de elasticidad que proporciona un ambiente a prueba de aplastamiento durante la germinación. [34]

2.2.3. Geomallas

Las geomallas están elaboradas con resinas de polietileno de alta densidad. Su principal función es para refuerzo y estabilidad de taludes, muros, refuerzo de suelos blandos y de capa base en pavimentos. [37]

Tipos de Geomallas: **uniaxial**, **biaxial**, **triaxial**; según muestra la figura: 2.11.

Figura 2.11. Tipos de geomallas



Fuente: adaptado de [37].

2.2.3.1. Geomalla uniaxial

Las geomallas uniaxiales son estructuras bi-dimensionales producidas en polietileno de alta densidad (HDPE, High Density Polyethylene), utilizando un proceso de extrusión, seguido de un estiramiento mono-direccional.[37]

Este proceso único permite una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, obteniendo gran fuerza y módulo de tensión en la dirección longitudinal.

La estructura de estas geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo. [37]

Figura 2.12. Geomalla uniaxial



Fuente: adaptado de [37].

En el siguiente figura:2.13 se ve el tendido de las geomalla en las pendientes pronunciadas del terreno.

Figura 2.13. Tendido de geomalla



Fuente: Fotografía

Aplicaciones:

1. Estabilización de suelos blandos.
2. Refuerzo de muros y taludes.
3. Para construcción de vías, estacionamientos, estribos de aproximación en puentes,

bordos para celdas de rellenos sanitarios, rampas de acceso, diques para canales y ríos, terraplenes respetando el derecho de vía, reconstrucción de taludes naturales.

4. Con este sistema se logra que trabajen en conjunto los suelos friccionantes con su gran resistencia a la compresión y la geomalla con su gran capacidad para absorber y distribuir los esfuerzos de tensión.
5. Las geomallas permiten crear taludes con cualquier inclinación conservando los factores de seguridad requeridos.

2.2.3.2. Geomalla biaxial

Las geomallas biaxiales están especialmente diseñadas para la estabilización y refuerzo del suelo.

Las geomallas son fabricadas a base de polipropileno (PP), producidas por un método de extrusión y posteriormente estiradas de forma bi-axial para incrementar sus características a la tensión.[37]

Las geomallas tienen un elevado módulo a la tensión y una óptima resistencia a los daños por construcción durante la instalación. La trabazón del material granular entre sus aperturas, permite un efectivo confinamiento y refuerzo del suelo. [37]

Figura 2.14. Geomalla biaxial



Fuente: adaptado de [37].

Aplicaciones:

1. Estructuras bidimensionales producidas en polipropileno.
2. Químicamente inertes.
3. Uniformes y homogéneas.
4. Indicadas para reforzar Taludes pequeños y como refuerzo secundario complementando el refuerzo primario proporcionado por las mallas.
5. Estabilización de suelos blandos.
6. Refuerzo y estabilización de muros.

2.2.3.3. Geomalla triaxial

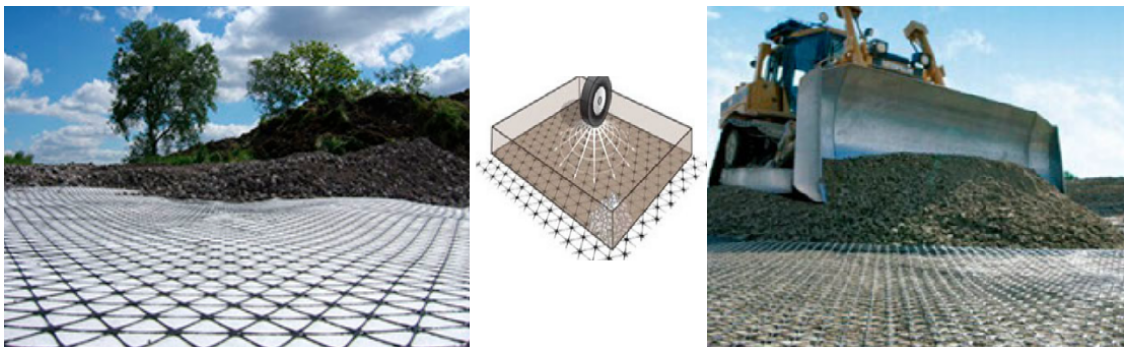
Las geomallas son fabricadas a base de polipropileno (PP), producidas por un método de extrusión y posteriormente estiradas de forma tri-axial para incrementar sus características a la tensión.[37]

Representan la nueva generación de las geomallas, son el producto más innovador y de mejores resultados que se ha desarrollado en el mundo de los geosintéticos en los últimos años. [37]

Las geomallas triaxiales fueron creadas y desarrolladas por la compañía Tensar de los Estados Unidos. Es la única compañía fabricante de este producto y ha sido concebido como un sustituto a las geomallas biaxiales, ya que produce mejores beneficios estructurales al mismo costo. [37]

Las geomallas triaxiales entrelazan y dan rigidez a los materiales de relleno mediante el confinamiento de partículas granulares en las aperturas triangulares, lo que da como resultado un componente más fuerte que brinda mayor capacidad de servicio y duración.[37]

Figura 2.15. Geomalla triaxial



Fuente: adaptado de [37].

Aplicaciones:

1. Estructuras tridimensionales producidas en polipropileno.
2. Químicamente inertes.
3. Uniformes y homogéneas.
4. Indicadas para reforzar taludes pequeños y como refuerzo secundario complementando el refuerzo primario proporcionado por las mallas.
5. Estabilización de suelos blandos.
6. Refuerzo y estabilización de muros.

2.3 Propiedades F-Q de las laderas naturales

El suelo es uno de los recursos básicos que sustenta la vida en el planeta. De tal manera se afirma, que toda la vida terrestre se relaciona estrechamente con el suelo y depende del mismo para su existencia. El suelo ha sido estudiado durante muchos años, y hoy es bien conocido que hay factores que dañan y amenazan su existencia; como también hay otros que contribuyen a perpetuarlos para las futuras generaciones.

Con respecto a la fertilidad de los suelos podemos confirmar que, un suelo fértil es capaz de contener todos los elementos nutritivos para las plantas, el contenido de materia orgánica necesario para el crecimiento y desarrollo de los mismos, como también todas las características físicas, químicas y biológicas relativamente aceptables. La disponibilidad, escasez o suficiencia de estas características serán capaces de mantener el equilibrio biológico en el suelo.

La fertilidad del suelo en su conjunto, es una cualidad que resulta de la interacción de un grupo de características (contenidos de elementos que se denominan nutrientes esenciales, PH, sales, propiedades físicas, etc.) con un conjunto de exigencias de las plantas que son de interés. La evaluación de la fertilidad en los suelos con fines agronómicos es el proceso mediante el cual se diagnostican problemas nutricionales en suelos y/o cultivos y en base a ellos se hacen recomendaciones de fertilizantes. Un diagnóstico completo no sólo incluye los problemas de fertilidad si no también, las condiciones ambientales (suelo-planta-clima) que también podrían incidir en una mejor producción del cultivo.

2.3.1. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles. [38]

2.3.1.1. Color

Esta propiedad permite deducir rasgos importantes en el suelo: un color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidromorfía permanente. El color se caracteriza por tres parámetros que son: Matiz o Hue, que expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Se consideran cinco colores principales (R, rojo; Y, amarillo; G, verde, B, azul y P, púrpura) y cinco intermedios. Brillo o Value que expresa la porción de luz reflejada y mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto. Intensidad o Cromo que expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. Un horizonte puede presentar un color uniforme o presentar manchas de distinto color. [39]

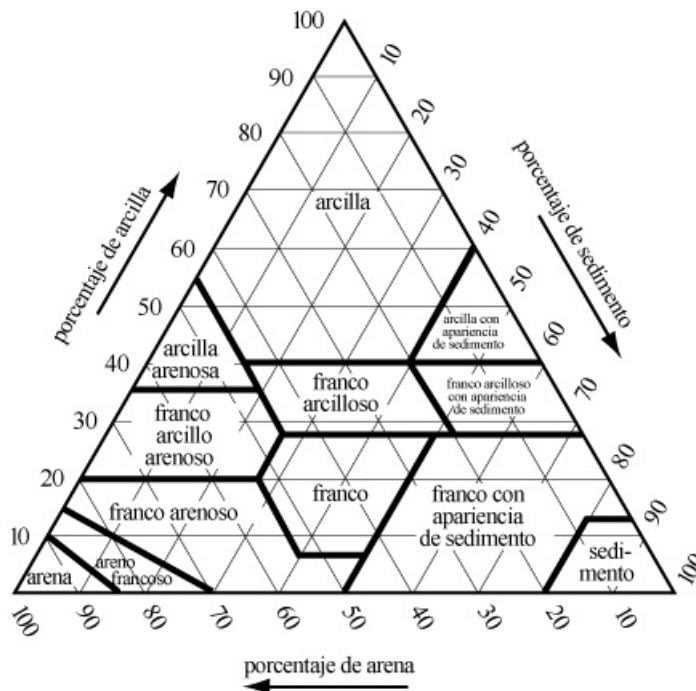
2.3.1.2. Textura

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño. Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para agrupar a los constituyentes del suelo

según su tamaño se han establecido muchas clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase. Definimos textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales. Se utilizan numerosos tipos de diagramas (circulares, de barras), pero el más ampliamente empleado es el triángulo de texturas o diagrama textural (2.16).

En general se puede decir que los suelos arenosos tienen buena aireación, son fáciles de labrar, son deficientes en nutrientes para las plantas, con baja retención de agua ya que se desecan con facilidad y son muy permeables. En los suelos limosos se producen efectos de impermeabilidad y mala aireación, carecen de propiedades coloidales y no tienen apenas la posibilidad de formar agregados. Los suelos arcillosos son ricos en nutrientes, pero si hay un exceso de arcilla (>30 %) son impermeables, las labores agrícolas son difíciles debido a su fuerte plasticidad en estado húmedo o a una excesiva compactación en estado seco. Los suelos con textura franca (equilibrada) es la ideal para el cultivo, aunque hay que tener en cuenta otros factores como el contenido en materia orgánica, régimen de humedad del suelo, clima, etc. [39]

Figura 2.16. Triángulo de texturas del suelo.



Fuente: Adaptado de: [40]

2.3.1.3. Densidad aparente

La densidad se define como la masa por unidad de volumen (M/V).

Se puede distinguir dos tipos de densidades de acuerdo a la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los espacios intersticiales entre los poros de

los agregados del suelo. Los tipos de densidades por lo tanto serán:

1. **Densidad real:** Constituye la densidad de la fase sólida del suelo. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico.

Los carbonatos presentan una densidad algo menor así como la materia orgánica, que puede llegar a valores de 0.1; debido a lo cual en horizontes muy orgánicos o carbonatados se debe reconsiderar el valor de 2.65. En el caso de los orgánicos puede calcularse aplicando los valores citados a los contenidos relativos de fracción mineral y orgánica.

2. **Densidad aparente:** Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado.

A fin de tomar decisiones de adicionar un elemento que se haya encontrado deficitario en análisis de suelo, hemos de conocer la masa de suelo que corresponde a una superficie definida para un espesor concreto. Usualmente se utiliza como unidad de superficie la hectárea y como profundidad la correspondiente a la capa arable que se establece como promedio en 30 cm. De este modo, la masa de una hectárea podemos calcularla multiplicando la densidad aparente por su volumen, que vendría expresado por el producto del espesor deseado en metros multiplicado por 10.000 que es su superficie en metros cuadrados. Una vez conocido ese valor ya es posible aplicar cualquier relación masa/masa obtenida en la determinación del parámetro a corregir, sin más que adecuar convenientemente las unidades. [41]

2.3.1.4. Capacidad de campo

La capacidad de campo (CC) de un suelo representa la cantidad máxima de agua que puede ser retenida en un suelo en contra de la fuerza de la gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo. En este punto el drenaje interno es insignificante. Al igual que el punto de saturación, también se ve afectado por el tipo y contenido de arcillas y materia orgánica. En términos de tensión, el valor de capacidad de campo se obtiene, generalmente, cuando se aplica al suelo una tensión de 1/3 de atmósfera (-33 KPa), utilizando el procedimiento de las membranas de presión. [42]

2.3.1.5. Punto de marchites

El punto de marchitamiento permanente (PMP) se define como la cantidad de agua del suelo en el que las hojas de las plantas que en él crecen se marchitan y no son capaces de recuperarse cuando se colocan en una atmósfera casi saturada de agua durante una noche. En la práctica, se utiliza este concepto para indicar el límite inferior del intervalo de agua disponible en el suelo. El valor de este parámetro se puede obtener aplicando al suelo una tensión de -1500 kPa. [42]

2.3.2. Propiedades químicas de los suelos

La agricultura desde su aparición se basa en la explotación del suelo. En muchos lugares por el mal uso que se le ha dado a los suelos, se ha perdido su fertilidad o bien lo han contaminado de manera que ahora atraviesan serios problemas de pobreza y hambre.

Situación que los hace propensos a enfermedades, a la pérdida de autoestima, a la violencia, a la dependencia de otros, entre tantas consecuencias. Los suelos para reponer sus minerales requieren de las arcillas y de la materia orgánica. La materia orgánica se puede reponer. En cambio la arcilla proviene de la meteorización tanto física como química de las rocas.

Guía:

La materia orgánica constituyente del suelo tiene su origen en restos vegetales y animales que se depositan sobre los suelos, que luego de varios procesos se incorporan. Generalmente la materia orgánica fresca es la que compone los horizontes o capas del suelo denominados H y O.

2.3.2.1. Principales componentes de las propiedades químicas de los suelos

Las propiedades químicas de los suelos, están determinadas principalmente por la materia orgánica y las arcillas, por ser éstos las fuentes principales aportadoras de nutrientes.

La materia orgánica presente en el suelo como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición. La materia orgánica cualquiera sea su origen, es junto a las arcillas los elementos esenciales para que se den una serie de aportes de nutrientes en los suelos. La relación carbono/nitrógeno del suelo desde el punto de vista químico, constituye un índice de gran utilidad en la interpretación de la calidad de la materia orgánica respecto a su fertilidad.[41]

En la tabla: 2.5 se muestra las principales categorías de acuerdo a la relación C/N.

Tabla 2.5. Relación C/N según calidad de materia orgánica.

Calidad de la materia orgánica	C/N
Muy Buena	7-8
Buena	8-12
Mediana	12-15
Deficiente	15-20
Mala	20-30
Muy Mala	30-50

Fuente: Schnitzer 1991, citado por Sánchez, B. et al (1992)

2.3.2.2. Ph

El pH indica el grado de acidez de la solución del suelo, pero no la acidez total del suelo. El pH debido a la influencia que tiene sobre el desarrollo de las plantas y la fauna del suelo, incide además en la velocidad y calidad de los procesos de humificación y mineralización así como en el estado de determinados nutrientes.

En los suelos los hidrogeniones se encuentran tanto en la solución, como en el complejo de cambio, dando origen a los dos tipos de acidez conocidas; la activa o real (en solución) y la acidez de cambio o de reserva (para los adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan H⁺ de la solución se liberan otros tantos H⁺ adsorbidos. Como consecuencia

el suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier modificación de su pH, está fuertemente tamponado. [41]

La acidez de los suelos se clasifica según sus valores en las categorías que se citan en la tabla:2.6

Tabla 2.6. Clasificación de acidez del suelo

pH de solución del suelo	Categoría
Menor de 4	Suelo extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Suelos muy fuertemente ácidos
5.1 - 5.5	Suelos fuertemente ácidos
5.6 - 6.0	Suelos medianamente ácidos
6.1 - 6.5	Suelos ligeramente ácidos
6.6 - 7.3	Suelos neutros
7.4 - 7.8	Suelos medianamente básicos
7.9 - 8.4	Suelos moderadamente básicos
8.5 - 9.0	Suelos fuertemente básicos
Mayor 9.1	Suelos muy fuertemente básicos

Fuente: USDA (Soil Survey Staff, 1965)

El pH de un suelo influye en la mayoría de las reacciones de los suelos. Entre otras influencias se puede mencionar:

1. Incide sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.
2. Un pH neutro es el mejor para las propiedades físicas de los suelos.
3. A pH muy ácido se da intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable.
4. A pH alcalino, la arcilla se dispersa, destruyéndose la estructura, dando origen a malas condiciones físicas.
5. El pH influye la asimilación de nutrientes del suelo pudiendo bloquear cuando el pH es ácido o bien cuando es alcalino según el tipo de nutriente.
6. pH entre 6 y 7,5 resulta ser el mejor rango para el buen desarrollo de las plantas.

2.3.2.3. Factores que intervienen en la acidez de los suelos

Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos, fundamentalmente:

1. Naturaleza del material original: Según que la roca sea de reacción ácida o básica.
2. Factor biótico: Los residuos de la actividad orgánica son de naturaleza ácida.
3. Precipitaciones: Tienden a acidificar al suelo y desaturarlo al intercambiar los H^+ del agua de lluvia por los Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ de los cambiadores.
4. Complejo adsorbente: Según que está saturado con cationes de reacción básica (Ca^{++} , Mg^{++} ...) o de reacción ácida (H^+ o Al^{+++}). También dependiendo de la naturaleza del cambiador variará la facilidad de liberar los iones absorbidos.

2.3.2.4. Cambio iónico

El cambio iónico se define como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas fases.

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) es la más importante, y más conocida.

En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes. Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica.[41]

Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son:

1. Sustituciones atómicas dentro de la red.
2. Existencia de bordes (superficies descompensadas).
3. Disociación de los OH de las capas basales.

En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios.

1. Tamaño de las partículas: cuanto más pequeña sea la partícula del material, más grande será la capacidad de intercambio.
2. Naturaleza de las partículas: La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes.

La capacidad de intercambio es variable, en los minerales o compuestos del suelo. En la tabla siguiente se señalan los principales materiales y sus valores de CIC según la tabla: 2.7.

Tabla 2.7. Valores de CIC según material.

Tipo de material	CIC, meq/100g
Cuarzo y feldespatos	1-2
Óxidos e hidróx. Fe y Al	4
Caolinita	3-15
Ilita y clorita	10-40
Montmorillonita	80-150
Vermiculita	100-160
Materia orgánica	300-500

Fuente: Adaptado de:[41]

Como vemos la naturaleza del cambiador confiere mayor a menor capacidad de cambio. Cada 1% de arcilla puede repercutir en medio miliequivalente en la capacidad de cambio

de cationes del suelo. Si en vez de arcilla nos referimos a la materia orgánica, cada 1 % puede repercutir en 2 miliequivalentes más ($\text{miliequivalente} / 100\text{gr} = \text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$).

la importancia de la capacidad de intercambio Catiónico:

1. Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , entre otros.
2. Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
3. Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

2.4 Medidas correctivas con la bioingeniería

A la ocurrencia de movimientos de masas del talud del Cerro de la Picota puede ocasionar daños que están al paso como edificaciones ubicadas al pie del talud y afectar también el centro histórico del Distrito de Ayacucho, es necesario evitar este riesgo.

2.4.1. Medidas para evitar riesgos para las personas y los bienes

Las propuestas de actuación ligadas a altas intensidades de lluvia deben tener en cuenta los criterios utilizados para el uso del suelo en función de su grado de inundabilidad fijados por el órgano responsable en materia de aguas, encaminados a reducir la vulnerabilidad al riesgo y los daños causados por la lluvia con el arrastre de la erosión de la ladera del Cerro de la Picota.

Figura 2.17. Construcción de edificaciones al pie del talud



Fuente: Fotografía en zona de estudio

2.4.1.1. Estimación de los escenarios de riesgo

Entendiendo que el riesgo es el resultado de la relación del peligro o amenaza y la vulnerabilidad; éste puede ser expresado en términos de daños o pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada y las condiciones de vulnerabilidad que presenta la ciudad, entonces:

$$RIESGO = PELIGRO \times VULNERABILIDAD \quad (2.7)$$

Para la estimación del riesgo se evaluará dos escenarios: uno frente a fenómenos geológicos y geológico - climático y otro frente a fenómenos climáticos.

Sin embargo, como los peligros y condiciones de vulnerabilidad presentan variaciones, es posible determinar una distribución espacial del riesgo, hallando las áreas de mayor riesgo frente a cada tipo de fenómeno, con la finalidad de determinar y priorizar acciones, intervenciones y proyectos de manera específica, orientados a disminuir los niveles de vulnerabilidad y riesgo del Distrito de Ayacucho y los distritos vecinos que conforma el área de estudio.

En el cuadro 2.8, la evaluación de los niveles de riesgo que se obtiene de manera conjunta al relacionar el nivel de peligro de acuerdo al mapa de peligros, con la (mapa de vulnerabilidad Plano 04). En el se puede observar que la concurrencia de zonas de mayor peligro con zonas de mayor vulnerabilidad, determinan zonas de mayor riesgo; conforme disminuyen los niveles de peligro y vulnerabilidad, disminuye el nivel de Riesgo y por lo tanto el nivel de pérdidas esperadas.

En el Distrito de Ayacucho, se estima que las zonas calificadas como riesgo muy alto se deben a fenómenos de recurrencia esporádica, lo cual se tomara en cuenta en los proyectos de intervención. [43]

Escenarios de riesgo ante fenómenos de origen geológico.

Asumiendo que la ocurrencia de sismos en el Distrito de Ayacucho son debido a los mecanismos de subducción y otros procesos tectónicos que caracterizan al Perú, se plantea la hipótesis que ocurra un sismo de magnitud 7 de características de un sismo superficial debido a las fallas poco profundas en la zona andina y los sismos de gran profundidad que ocurren en la región oriental. [43]

Entonces los efectos en el área de estudio serían los siguientes:

1. Colapso de las edificaciones por fallas estructurales que compromete principalmente a las edificaciones de adobe y ladrillo en mal estado de construcción y ubicadas en las laderas sobre suelos poco compactos lo que significaría la destrucción en aproximadamente 10.0 % de la ciudad y su entorno.
2. Daños considerables en el 45.0 % de las edificaciones del centro histórico afectando a una población aproximada de 10,000 Hab.
3. Desabastecimiento de los servicios básicos por colapso de redes de agua y desagüe, además por el colapso de los reservorios, con los consiguientes problemas de salubridad e incremento de enfermedades infecto contagiosas.

4. Disminución de la capacidad operativa de los servicios de emergencia por daños sufridos en las instalaciones de Hospitales (Regional y EsSALUD), Comisarías y Estación de Bomberos; y restricción en la comunicación por daños en el servicio.
5. Posible ocurrencia de incendios post-eventos sísmicos especialmente en las construcciones antiguas y precarias
6. Posible interrupción del acceso a la ciudad por la vía Los Libertadores en el sector de la Av. Javier Pérez de Cuellar por deslizamientos de las laderas.
7. Destrucción de los servicios educativos y disminución de las actividades comerciales y de servicios en la ciudad servicio en la ciudad.

Este escenario de riesgo, se grafica en el mapa de riesgo (Plano 03) de la ciudad y su entorno en el cual se determina las zonas donde se podrían producir la mayor cantidad de pérdidas de vidas humanas.

En el área estudio se ha identificado cuatro niveles de riesgo; que van desde el nivel de, riesgo alto, riesgo medio y riesgo bajo. [43]

Las zonas que presentan riesgo Alto son:

1. Laderas del Cerro La Picota: Sector Norte y Sur.
2. Laderas Totorilla
3. Laderas Puracuti
4. Laderas Huatatas.

Escenario de riesgo ante fenómenos de origen climático.

En el área de estudio estos fenómenos están relacionados con cambios climáticos que provocan inundaciones severas transporte de sedimentos y sedimentación debido a los altos caudales sobre el río Alameda y las quebradas que atraviesan la ciudad y su entorno; y el deslizamiento de laderas por efectos de las lluvias. Configurando los efectos siguientes:

1. Colapso de las edificaciones de adobe en los sectores expuestos por humedecimiento impacto y erosión en los cimientos y paredes.
2. Viviendas e infraestructura afectadas por el desborde de los las quebradas que cruzan la ciudad: Totorillas, Chaquihuaycco, Yanaccacca, Escarcena, etc. debido a la colmatación de su cauce por el tipo de sedimentos que se deslizan por efectos de las lluvias, el arrojado de residuos sólidos.
3. Colmatación de redes de distribución y colectoras de desagüe; con reflujos de aguas servidas.
4. Interrupción parcial del sistema de agua potable en zonas afectadas.
5. Daños en la infraestructura del sistema de alcantarillado por que las aguas de lluvias son conducidas a los desagües a través de drenes.

6. Erosión de las vías no pavimentadas, provocando el aislamiento de algunos sectores.

En el área de estudio se han identificado niveles de riesgo, estimados frente a fenómenos climáticos las áreas de: Riesgo muy alto y alto los mismos que se localizan en todo el ámbito del Distrito de Ayacucho y los distritos vecinos. Ver cuadro: 2.8

Tabla 2.8. Niveles de riesgo según sectores identificados del Distrito de Ayacucho

SECTORES IDENTIFICADOS		PELIGRO.	VULNERABILIDAD	NIVELES DE RIESGO
QUEBRADA CHAQUIHUAYCCO	I	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
RIO ALAMEDA - HUANCHITO	II	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
SANTA ANA - ISACHAYOCC	III	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
QUEBRADA. ARROYO SECO	IV	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
RIO ALAMEDA - PUENTE NUEVO	V	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
QUEBRADA YANACCACCA	VI	MUY ALTO	ALTA	MUY ALTO
QUEBRADA ESCARCENA	VII	ALTO	ALTA	ALTO
LADERAS PICOTA ZONA SUR	VIII	ALTO	ALTA	ALTO
LADERAS PICOTA ZONA NORTE	IX	ALTO	ALTA	ALTO
LADERAS PURACUTI	X	ALTO	ALTA	ALTO
LADERAS TOTORILLA	XI	ALTO	ALTA	ALTO
LADERAS - HUATATAS	XII	ALTO	ALTA	ALTO

Fuente: Equipo Técnico de INDECI - 2003

2.4.1.2. Identificación de sectores críticos

A partir de la estimación del riesgo y los mapas respectivos, se han identificado doce sectores críticos (Plano 05), teniendo como criterio principal el agrupamiento de áreas de mayor riesgo ante fenómenos de origen Geológico, geológico-climático y climático. En estos sectores la Municipalidad Provincial de Huamanga así como las distritales y todas las autoridades que estén comprometidas con la prevención y mitigación de desastres deben priorizar sus acciones según los niveles de riesgo existentes. [43]

Cabe mencionar que los fenómenos de origen climático y geológico-climático son los que se presentan con mayor recurrencia y están relacionados a la presencia de altas precipitaciones que ocasionan torrenceras de gran poder erosivo, inundaciones repentinas, surcos y cárcavas. Las principales características de los doce sectores en este caso solo se menciona dos de ellas por ser importante y por estar en la zona de estudio.

Sector VIII: La Picota - Zona sur.

Se localiza en el Distrito de Ayacucho al oeste y nor oeste de su Plaza de Armas, presenta una superficie de 18.16 Ha. aproximadamente, que representan el 0.98 % de la superficie ocupada por la ciudad. Alberga una población de 908 habitantes que ocupan en promedio 182 viviendas, con una densidad promedio de 50 Hab./Ha. Compromete a los Sectores ubicados sobre las laderas bajas a medias del “Cerro de la Picota” desde el pasaje Yurac Yurac, pasando por Pueblo Libre, Alto Perú, Los Pinos, Señor de la Picota hasta Wari Accopampa, ubicado hacía el norte.

El uso predominante es el residencial, siendo las viviendas en su gran mayoría de adobe y ladrillo en mal y regular estado de construcción, presenta un nivel de accesibilidad bajo,

ya que el 100 % de sus vías se encuentran sin pavimentar, cuenta con servicios de agua y desagüe en las viviendas.

Se encuentra afectado por fenómenos de origen geológico, geológico-climático y Climático, relacionados a la acción sísmica y acción pluvial, presentándose alta amplificación sísmica, inundaciones críticas por las crecidas repentinas de las quebradas que bajan desde el “Cerro de la Picota” hacia el casco urbano de la ciudad y a su paso van ocasionando sobre las laderas del cerro: erosión, surcos, cárcavas profundas y empuje hidrodinámico importante que pone en riesgo las edificaciones construidas en este sector y muy cerca de los cursos de agua. Los principales equipamientos localizados en este sector, que se encontrarían afectados son el Paseo la Alameda Bolognesi, el Arco la Independencia, C.E. San Ramón. En este sector se estima un nivel de riesgo muy alto a alto. [43]

Sector IX: La Picota - Zona Norte.

Se localiza en el Distrito de Ayacucho al nor oeste de su Plaza de Armas, presenta una superficie de 10.79 Ha. aproximadamente, que representan el 0.58 % de la superficie ocupada por la ciudad. Alberga una población de 540 habitantes que ocupan en promedio 108 viviendas, con una densidad promedio de 50 Hab./Ha. Compromete a los Sectores ubicados sobre las laderas bajas a medias de la zona norte del “Cerro de la Picota” que comprenden en el asentamiento humano de Los Artesanos, San Pelaez, Asociaciones Jesús Nazareno, María Magdalena, Santa Teresa y Los Olivos, entre las más importantes.

El uso predominante es el residencial, siendo las viviendas en su gran mayoría de adobe y ladrillo en mal y regular estado de construcción, presenta un nivel de accesibilidad bajo, ya que el 100 % de sus vías se encuentran sin pavimentar, cuenta con servicios de agua y desagüe en las viviendas.

Se encuentra afectado por fenómenos de origen geológico, geológico-climático y climático, relacionados a la acción sísmica y acción pluvial, presentándose sobre las laderas del cerro: alta amplificación sísmica, erosión, surcos, cárcavas profundas y empuje hidrodinámico importante que pone en riesgo las edificaciones construidas en este sector y muy cerca de estos cursos de agua temporales. En este sector se estima un nivel de riesgo muy alto a alto. [43]

2.4.2. Medidas destinadas a la protección del patrimonio cultural

El Distrito de Ayacucho, cuenta con una riqueza patrimonial arquitectónica y urbana de valor, decantada a partir de su evolución principalmente proveniente de los siglos XV, XVI y XVII, producto del desarrollo de la actividad minera, los obrajes y el desarrollo de las haciendas de la región.

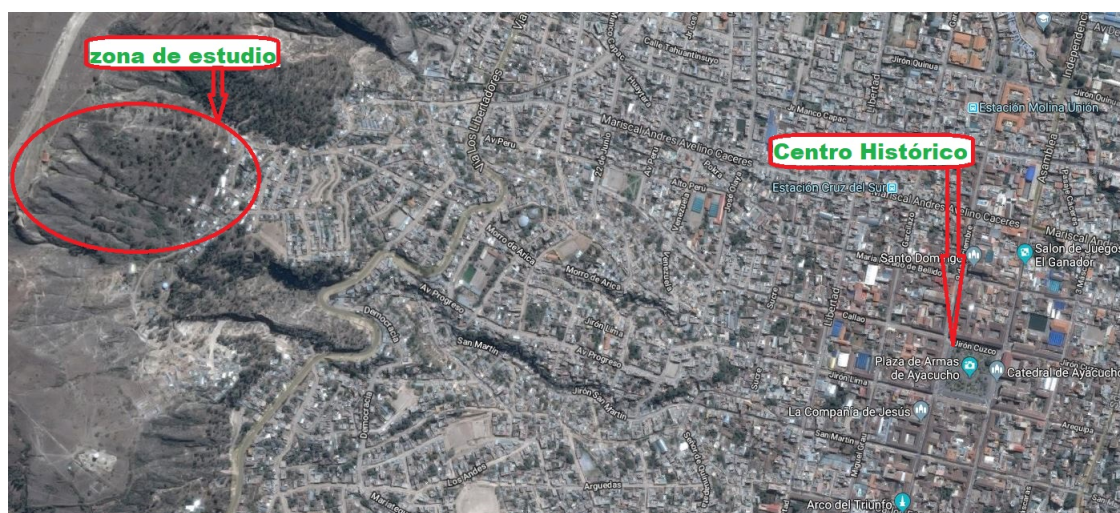
Se ha reconocido mediante Resolución Suprema N° 2900-72-ED, la Zona Monumental con un área aproximada de 501 Ha., conteniendo 07 ambientes urbano monumentales, 36 monumentos de arquitectura religiosa y 221 monumentos de arquitectura civil declarados por esta resolución y otras posteriores. Se consideran tres zonas de grados de protección: A (de tratamiento riguroso), B (de tratamiento de contexto) y C (de tratamiento de transición), contemplados en el Plan Director de 1996 y en el reglamento de emergencia de edificaciones del centro histórico aprobado por la Municipalidad Provincial de Huamanga en año 1999.

La zona monumental considera la ciudad española inicial y los barrios históricos de Santa Ana, Magdalena, Carmen Alto, San Juan Bautista, San Sebastián, Qonchopata, Belén y Calvario. Además de estos sectores, se consideran las áreas circundantes. (Ver Plano 02). [43]

En referencia a la relación de los bienes inmuebles de interés cultural del Municipalidad provincial de Huamanga, se recomienda que las intervenciones sobre bienes inmuebles propuestos para ser declarados monumento o conjunto monumental por el Ministerio de Cultura sean las de restauración científica y restauración conservadora. Asimismo, se dota a su entorno de protección cautelar.

En referencia a las zonas de presunción arqueológica, efectivamente puede hacer daño la inestabilidad del talud del Cerro de la Picota, este puede afectar con la erosión y transporte de sedimentos ante una falla que ocasionaría las tormentas de lluvia, según muestra la figura 2.18 el centro histórico está en riesgo ante este fenómeno.

Figura 2.18. Ubicación del centro Histórico



Fuente: Fotografía satelital google maps

2.4.3. Medidas sobre la vegetación

Para minimizar los impactos producidos por la alteración de la vegetación se proponen una serie de medidas cuyos objetivos son:

1. Recuperación de los suelos afectados por la erosión que se genera a cada año.
2. Integración Paisajista del proyecto en el entorno.
3. Control de la erosión.
4. Sustitución de la vegetación eliminada.
5. Ornamentación y mejora del entorno.

Medidas correctoras:

En áreas que previsiblemente se puede dar este hecho se dará una escarificación y subsolado. En las zonas más vistosas se hará un laboreo previo a la plantación.

Medidas preventivas

1. Marcar convenientemente con estacas u otros elementos las manchas de vegetación o aquellos pies que, aun estando en el interior de la línea de expropiación pueden ser preservadas por no estar prevista ninguna actuación sobre ellas.
2. La declaración de un Árbol Singular incluirá la delimitación geográfica que se considere necesaria para su adecuada protección, así como la normativa de regulación de usos y actividades que incidan sobre el mismo.
3. Las zanjas u obras de tierra no deberán aproximarse a la vegetación más de una distancia igual a cinco veces el diámetro del árbol o la altura normal o la altura normal (1,20 m), siendo esta distancia superior a 0,5 m.

Mantenimiento y conservación:

Se recomienda un mantenimiento durante dos años consistente en los siguientes aspectos:

1. Riegos
2. Siegas
3. Abonados
4. Tratamiento fitosanitario

En el presente Estudio se proponen medidas para la protección de los hábitats comunitarios:

1. Las medidas serían eminentemente protectoras, y estarían relacionadas con la delimitación física de una barrera visible que identifique las zonas ajenas a las obras.
2. Esta delimitación se deberá planificar adecuadamente con objeto de ocupar la menor superficie posible y de evitar que se ocupen las áreas con formaciones vegetales y biotopos de menor valor.

2.4.4. Medidas para la conservación de los espacios naturales protegidos

1. Reservar suelo para la creación de áreas naturales destinadas a usos recreativos.
2. Proteger las zonas naturales valiosas interiores de las zonas urbanas.
3. Fomentar la continuidad ecológica entre dichas áreas protegidas y las zonas verdes.
4. Proponer intervenciones que recuperen y equilibren el capital natural perdido
5. (zonas húmedas que han sufrido procesos de degradación).
6. Establecer un sistema coherente de espacios verdes abiertos para esparcimiento de la población.

2.4.5. Medidas sobre la edafología

Se deben considerar las acciones correctoras que mitiguen las alteraciones físicas del suelo, la tierra vegetal es un bien muy apreciable, de lenta formación y fundamental para el proceso de revegetación, como consecuencia del movimiento de tierras, puede perderse la capa de tierra vegetal (horizonte húmico) del terreno natural, removido. Aparte de sus características edáficas cualitativas, esta capa constituye una reserva de semilla que favorecerá la revegetación natural de aquellas zonas donde se realice su aporte. [44]

Medidas correctoras

1. En caso de que el acopio se alargue en el tiempo, se arreglarán las erosiones producidas por las lluvias y, mediante siembras o hidrosiembras se mantendrá cubierta la parte más superior del acopio.
2. Las obras, así como las operaciones auxiliares que impliquen ocupación del suelo, se desarrollarán dentro de los límites del proyecto.

Medidas preventivas

Los accesos a la obra, el área de almacenamiento temporal de materiales de obra, de acopios temporales de tierra vegetal y de residuos se proyectarán en base a criterios de mínima afección ambiental.

2.4.6. Medidas para evitar afecciones con la hidrología

El acceso de toda la superficie urbanizada contará con pendientes tales que faciliten la evacuación de agua hacia el sistema de recogida de pluviales (cuneta perimetral). La mejora de la calidad de los recursos hídricos requiere acciones que actúen sobre los focos contaminantes. Así, pueden producirse focos puntuales (colectores, vertederos, etc) que admiten un planeamiento preventivo mediante la ordenación del territorio o bien tratarse de contaminación difusa (plaquicidas, fertilizantes, herbicidas, etc) cuya solución enlaza con cambios en las prácticas agrícolas contaminantes.

Asimismo, el diseño constructivo de las edificaciones y de las infraestructuras de acceso se realizará con el criterio de la mínima afección al dominio público hidráulico. Se evitará así mismo la ocupación temporal y permanente de las zona de servidumbre de paso de los arroyos afectados por las actuaciones, que deberán quedar en condiciones lo más naturales posibles, libres de rellenos, cierres y otras ocupaciones que obstaculicen su función. En el caso de existir afección, se realizará la restauración de la zona aplicando en su caso técnicas de ingeniería biológica para la recuperación de la vegetación.

Estas técnicas utilizan material vegetal vivo como elemento de construcción, sólo o combinado con materiales inertes, dentro del campo de la restauración ambiental. Son sistemas vivos, basados en una sucesión natural, es decir, que permanecen en equilibrio mediante la autorregulación dinámica sin necesidad de aporte de energía artificial. Tienen un escaso impacto ambiental consiguiendo la consolidación de taludes y el control de la erosión. [44]

Las obras de bioingeniería no son siempre más baratas que las obras de ingeniería clásica. Pero teniendo en cuenta la durabilidad de estas obras, incluyendo los trabajos de mantenimiento, las obras de bioingeniería son normalmente más económicas. Las ventajas más relevantes son:

1. Ahorro de costes comparado con técnicas tradicionales de construcción, aunque este punto no siempre se cumple; ahorro de costes de mantenimiento y saneamiento.
2. Creación de zonas verdes y comunidades arbóreas y arbustivas utilizables por la población en terrenos degradados o baldíos.

2.5 Impacto económico y ambiental de la bioingeniería

Según la geología ambiental emplea los conocimientos geológicos en la investigación del medio ambiente, contribuyendo al diagnóstico y corrección sobre la problemática de la contaminación. Es decir, se ocupa del estudio de los riesgos geológicos naturales y antropogénicos, en lo que concierne al impacto económico se analiza los diferentes formas de estabilizar un talud luego evaluar los costos de cada medida de estabilización del talud.

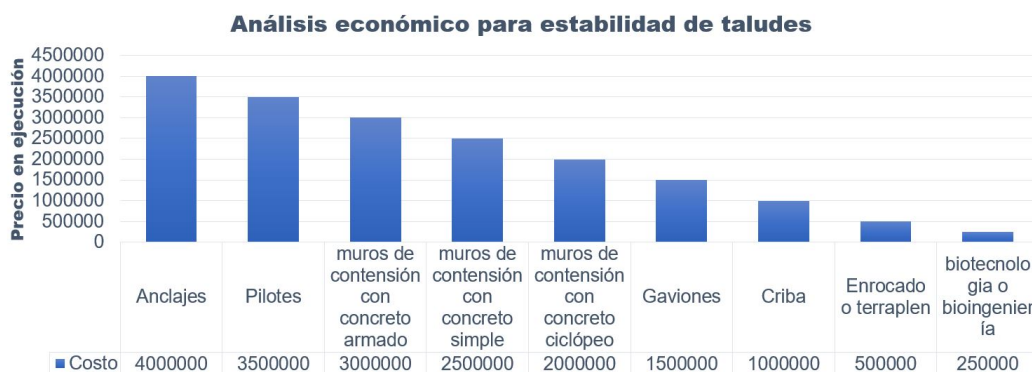
2.5.1. Impacto económico de la bioingeniería

La amplia literatura existente en el campo de la economía aplicada dedicada al análisis del impacto económico de una determinada actividad nos alerta sobre las dificultades subyacentes en la cuantificación final de dichos impactos, que se inician con la propia disponibilidad de la información de partida necesaria para el adecuado dimensionado de la actividad a analizar, y continúan con la metodología específica para evaluar los efectos encadenados sobre el resto del sistema económico.

Adicionalmente, estos problemas se agravan cuando los efectos de la actividad a analizar trascienden, como en el caso de la biotecnología, de los indicadores que utilizamos habitualmente para medir el desempeño económico y que se concentran en cantidades y precios de factores productivos utilizados en cantidades y precios de los bienes y servicios generados.

Según el gráfico 2.19 la estabilización del talud con la bioingeniería es más económico.

Figura 2.19. Análisis económico para estabilidad de taludes



Fuente: Elaboración Propia

2.5.2. Impacto ambiental de la bioingeniería

La geología ambiental es la aplicación del conocimiento geológico a la investigación del ambiente. Apoya al diagnóstico y mitigación de los problemas de contaminación, minimizando la posible degradación ambiental o maximizando la posibilidad del adecuado uso del ambiente natural o modificado. [45]

La protección de taludes es un procedimiento fundamental para estabilizar taludes de obras civiles o naturales que suponen un riesgo para las personas o para las infraestructuras. Dada la importancia que tiene garantizar la seguridad ante este tipo de peligros, existen numerosas técnicas que permiten estabilizar el talud y evitar o controlar los riesgos existentes.

La bioingeniería es una disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, estéticos y económicos, aprovechando los múltiples rendimientos de las plantas y utilizando técnicas de bajo impacto ambiental. Se podrán desarrollar y diseñar, cuando sea necesario, obras de bioingeniería para la estabilización de laderas y de márgenes. El objetivo será la estabilización del terreno y la protección mediante de la vegetación viva, bien combinada o no con otros materiales constructivos. [46]

La evaluación de impacto ambiental de proyectos es el instrumento más adecuado para preservar los recursos naturales y defender al medio ambiente. Un esquema general de la EIA debe incorporar los siguiente:

1. Introducción, objetivos y metodología de trabajo.
2. Descripción del proyecto: Localización geográfica, estudio de alternativas técnicas variables y justificación de la solución adoptada, descripción de las obras, principales acciones con incidencia medioambiental, materias primas y recursos naturales, residuos generados, etc.
3. Identificación, descripción y valoración de impactos:
 - Identificación de impactos: acciones generadores de impactos, factores capaces de recibir impactos y relaciones causa-efecto.
 - Selección de alternativas.
 - Descripción y valoración de impactos.
4. Propuesta de medidas correctoras.
5. Programa de vigilancia ambiental: protocolo que permite realizar un seguimiento de la ejecución de las medidas correctoras, y un control sobre los impactos previstos.
6. Documento de síntesis (resumen claro y conciso).
7. Anexos: fotografías, estudio de ruidos, aceptación social, etc.
8. Cartografía: planos y documentación gráfica.
9. Presupuesto.

2.5.2.1. Área de influencia

Área de influencia directa:

Según entidades internacionales, el área de influencia directa se define de la siguiente manera: “El área de influencia directa es el territorio en el que se manifiestan los impactos ambientales directos, es decir aquellos que ocurren en el mismo sitio en el que se produjo la acción generadora del impacto ambiental y, al mismo tiempo o en tiempo cercano, al momento de la acción que provocó el impacto.”

Se considera como área de influencia directa a la zona de seguridad estricta, la que ocupará, en el ámbito de emplazamiento del proyecto determinado por deslizamiento del talud. [47]

Área de influencia indirecta:

El área de estudio, comprende como muestra la figura 2.17.

2.5.2.2. Descripción del Medio Físico

Calidad de aire:

Debido a una alta incidencia de biocontaminantes, es baja la calidad del aire en el Distrito de Ayacucho. La principal causa de contaminación, según el estudio, se debe al parque automotor, que contamina en 53.12%, el cual está compuesto por omnibuses (830), automóviles (1998) y mototaxis (2 mil 222) que emiten partículas contaminantes por tubos de escape y la suspensión de las mismas, durante el paso por diferentes calles que se encuentran sin pavimentar, de los distritos de Carmen Alto, Ayacucho, San Juan Bautista y Jesús Nazareno.

Durante el primer estudio realizado en entre el 22 y 26 de setiembre del 2009, resultó que la cantidad de contaminantes va entre 108 g/m^3 y 149 g/m^3 a excepción del día 22, en el punto Class Nazareno se excede el estándar de calidad de aire, llegando a 150 g/m^3 .

La segunda evaluación del aire en la cuenca atmosférica de Huamanga, se realizó en temporada de lluvias en el mes de abril del 2012, y se observa un ligero incremento, pues los estándares llegan a 150 g/m^3 .

En la tercera evaluación, según la Dirección del Ambiente de la Dirección regional de Agricultura, llega a las conclusiones que los contaminantes están en aumento y dicha tendencia se mantiene.

El resultado de ambos estudios fue entregado al municipio provincial, no obstante es evidente que no se han realizado las acciones necesarias, pues los niveles van subiendo cada año.

Otros problemas identificados que alteran la calidad del aire, figuran la quema de pastizales, basura, llantas y muñecos durante la época navideña así como el humo producido por los restaurantes de pollos y parrillas, la bulla en horas de tráfico, la tala de árboles y depredación de flora nativa, y el mal olor por la mala disposición de residuos sólidos.

Todos estos factores causan en la salud de las personas, según en la Dirección Regional de Salud, infecciones respiratorias agudas, así como el desarrollo de cáncer a los pulmones, principalmente en zonas áridas de esta jurisdicción.[47]

Climatología:

Según el estudio y determinación del Dr. Jaime Rivera Palomino, resume, que “ El clima de Ayacucho, cuenca accidentada, sin un río importante, con predominio de escarpes y pendientes, es el más adecuado para la salud; una estación seca y otra lluviosa, con cambio moderados de temperatura, lluvias momentáneas que permiten que el sol seque al suelo inmediatamente. Si bien la poca humedad y las polvaredas causan molestias, pues tuestan la piel y quiebran el cutis”.[47]

Recursos hídricos y calidad del agua:

Los recursos hídricos en la parte de los distritos de Ayacucho y San Juan Bautista son escasos aguas, debido a que no se cuenta con un sistema hidrográfico alimentado por deshielos en zonas cercanas, las aguas corrientes (ríos) en el distrito nacen en las partes altas y fluyen de Sur a Norte hasta desembocar en el río Chacco. La red hidrográfica lo conforman los ríos Huatatas, Alameda y otros ríos que fluyen en época de lluvias. Los puquiales o aguas filtradas son también escasos y el caudal de estos son intrascendentes.[47]

Suelos:

Los suelos de estos distritos y sus procesos formadores, son complejos, están representadas litológicamente por rocas, ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades oscilan entre el pre-cretáceo y el cuaternario reciente.

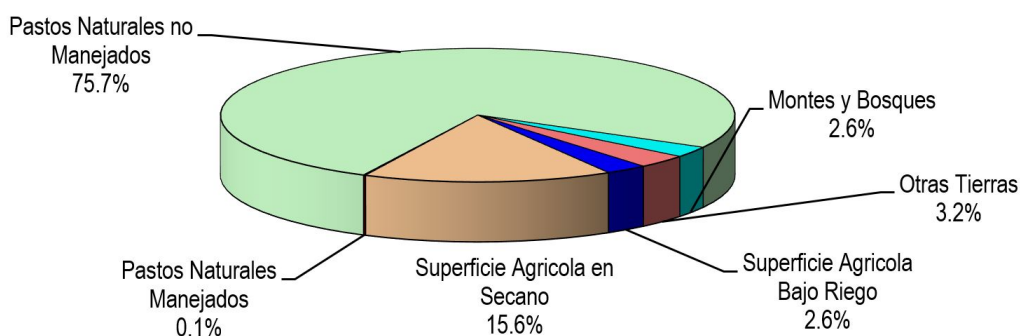
Geología geomorfología, estratigrafía y geoquímica:

El Distrito de Ayacucho se caracteriza por presentar una topografía de mediana elevación natural que comprende, superficies onduladas, llanos o pampas en la que se extiende toda la zona urbana del Distrito, como Pampa el Arco, Pampa de Aviación Mollepata, Llañupampa, Canaán, Santa Elena, etc. Los cañones escarpados estrechos y profundos, erosionados por los ríos como San Sebastián, Pericohuayco, Puente del Ejército, etc. Y pequeñas colinas con laderas de pendiente suaves aptas para el cultivo como en la zona de Rancho y Huaschahura, finalmente valles con laderas donde predomina el cultivo de tunales.

Los suelos con aptitud agrícola, debido a las pendientes pronunciadas, presentan problemas de erosión por las fuertes precipitaciones pluviales y por incipiente práctica del control de suelo de los agricultores. Asimismo, estos suelos tienen baja fertilidad.[47] Cuenta con una superficie territorial de 8,529 Ha y se distribuye de la siguiente manera como muestra el gráfico 2.20:

Según el gráfico 2.20, la superficie total es de aproximadamente, 8,529 Ha de los cuales el 75.7% representa pastos naturales y el 15.6% representa la superficie agrícola, que en los últimos años los agricultores han aprendido a manejar racionalmente la rotación

Figura 2.20. Superficie de Tierras del Distrito de Ayacucho



Fuente: Oficina de Información Agraria - DRAA.

de cultivos y protección de áreas cultivables a través de cercos, en áreas con riego se siembran alfalfares para cubrir la alimentación de sus ganados en periodos secos. Las tierras de aptitud forestal representan el 2.6% y el 3.2% corresponden a otras tierras como empinados rocosas.

En las comunidades de Rancho y Huaschahura principales zonas agrícolas del Distrito, predomina la conducción tradicional de cultivos de pan llevar como maíz, cebada, arveja, haba, etc. la misma que se realiza con escasa tecnología y con predominio del minifundio; configurando de ese modo, una agricultura de alto riesgo y de bajo rendimiento.[47]

2.5.2.3. Descripción del medio biológico

Flora:

En el lugar del proyecto se puede encontrar las siguientes especies nativas y exóticas: *Acacia macracantha* “warango”, *Schinus molle* “molle”, *Opuntia ficus-indica* “tuna”, *Prunus serotina* “guinda”, *Agave americana* “cabuya”, *Phragmites australis* “Carrizo”, *Nicotiana glauca*, *Nicotiana tabacum* “tabaco”, *Leonotis nepetifolia* “siete pisos”, *Eucaliptus globulus* “eucalipto”, *Morus alba* “mora”, *Ficus carica* “higo”, *Prunus persica* “durazno”, “Pacae” *Inga feullei* *Asclepias curassavica* “mata ganado”, *Datura stramonium* “chamico”, *Pennisetum clandestinum* “grama o kikuyo”. Las especies mencionadas, generalmente se encuentran a lo largo de la quebrada Chaquihuaycco y dentro de huertas o jardines de las casas; en especial las especies de estrato arbóreo y arbustivo. [47]

Fauna:

La zona del proyecto es un ecosistema urbano, por ende la fauna silvestre ha sido desplazada y en el peor de los casos llegaron a una categoría de extinción. Sin embargo, se puede encontrar especies de aves que han tratado de adaptarse a este tipo de ecosistema, debido a la presencia de plantas arbóreas y arbustivas, las mismas que les podría proporcionar su dieta alimenticia. Entre ellas se menciona las siguientes especies de aves *Columba livia* “Paloma”, *Zonotrichia capensis* “gorrión o chukra pichiru”, *Zenaida auriculata* “urpitu”, *Turdus chiguanco* “zorzal”, *Falco sparverius* “cernícalo”. Además se puede encontrar artrópodos de orden Lepidóptera, Coleóptera, Díptera, Orthoptera, Hemípteras, Hymenópteras, etc.

De la misma forma en la zona del proyecto existen especies domésticas entre las que destacan: Porcinos, ovino, Caprino, y animales menores de crianza como gallinas y cuyes.[47]

2.5.2.4. Identificación de impactos ambientales

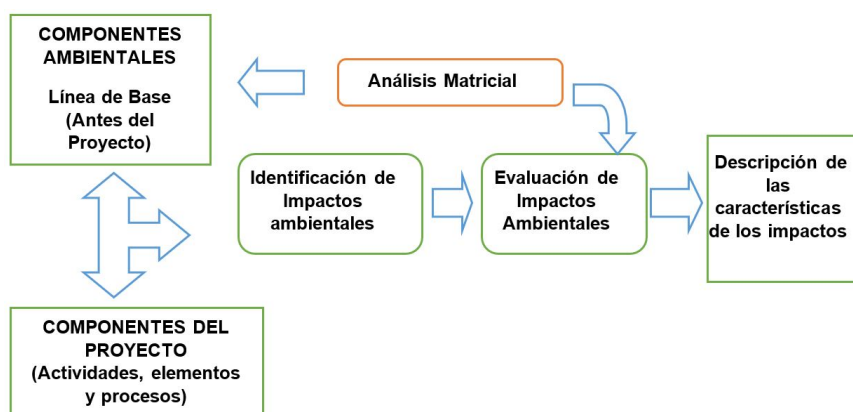
El análisis de los impactos ambientales, se ha desarrollado considerando la naturaleza del proyecto y la información base de los diferentes componentes ambientales descritos, con el propósito de puntualizar los aspectos ambientales más relevantes vinculados con el proyecto, y determinando las relaciones que se establecerán entre el proyecto y su entorno. En este sentido se ha utilizado un conjunto de metodologías basadas en la interacción de los factores ambientales y componentes y procesos del proyecto con la comparación de escenarios a corto, mediano y largo plazo.

La aplicación de las metodologías permitió determinar los impactos ambientales desde una perspectiva general a una perspectiva específica, lo cual proporcionó ideas claras de los distintos fenómenos y acontecimientos que afectarán al ambiente.

Para la identificación de manera directa de los principales problemas que puedan afectar a la población, se han tomado en consideración los resultados de las entrevistas y los mecanismos de participación ciudadana que se realizaron con la población involucrada.

En las secciones siguientes, se presenta la descripción y conceptualización de las metodologías que se han aplicado en la identificación y evaluación de impactos ambientales.[47]

Figura 2.21. Síntesis del proceso metodológico para la identificación y evaluación de impactos ambientales.



Fuente: Estudio de impacto ambiental de drenaje-Ayacucho.

Esta aplicación metodológica, adaptada para el proyecto, se basa en una tabla de doble entrada en el que las columnas consideran las diferentes actividades que se desarrollan, mientras las filas están ocupadas por factores ambientales (características físicas y químicas de los elementos base; las condiciones biológicas de la flora y fauna existentes en el área y las condiciones sociales, culturales y económicas de la población).

Se considera esta metodología para diagnosticar globalmente las implicancias ambientales que se presentan y las que pudieran suscitarse, lo que permite obtener elementos de análisis preliminares, para poder entender las principales relaciones que se establecen en las etapas de planificación, construcción y operación, relacionado con el ambiente, dentro

del área de influencia del proyecto.[47]

El grado cualitativo del nivel del impacto ambiental se presenta a través de colores de acuerdo a la siguiente descripción según la tabla 2.9:

Tabla 2.9. Evaluación de impactos

Escala jerárquica cualitativa	Ponderación de impactos	
	Negativos	Positivos
Bajo	(-1) – (-2)	(+1) – (+2)
Medio	(-3) – (-5)	(+3) – (+5)
Alto	(-6) – (-8)	(+6) – (+8)
Muy alto	(-9) – (-10)	(+9) – (+10)

Fuente: Estudio de impacto ambiental de drenaje-Ayacucho.

La identificación se realiza conjuntamente con el equipo de profesionales responsables de la elaboración del proyecto.[47]

2.5.2.5. Proceso de identificación de impactos ambientales

Antes de proceder a identificar y evaluar los potenciales impactos ambientales del proyecto, es necesario realizar la elección de los componentes interactuantes. Este análisis consiste en seleccionar las principales actividades del proyecto y los componentes ambientales del entorno físico, biológico y socio económico que intervienen en dicha interacción.

En la selección de actividades se optó por aquellas que tendrán incidencia probable y significativa sobre los diversos componentes ambientales. Del mismo modo, en lo concerniente a componentes ambientales se eligieron aquellos de mayor relevancia ambiental.[47]

2.5.2.6. Actividades del proyecto con potencial de originar impactos

A continuación se listan las principales actividades del proyecto con potencial de causar impactos ambientales en su área de influencia. Estas actividades se presentan según el orden de las etapas del proyecto[47], según muestra el siguiente Tabla:2.10 .

2.5.2.7. Componentes del ambiente potencialmente afectables

Se conoce como impacto ambiental, a una alteración o cambio del medio ambiente, que se produce mediante un efecto o causa de una intervención humana. Se puede añadir que, este impacto puede ser tanto positivo como negativo. Cuando se trata de negativo es porque se establece un quiebre en el equilibrio ecológico, lo que produce graves deterioros en el medio ambiente, esto afecta la salud de muchos individuos y seres vivos. Pongamos por caso; la contaminación de los mares y el aire con el petróleo, la basura o la contaminación acústica, los desechos de energía radioactiva u otros. [48]

A continuación se listan los principales componentes ambientales que potencialmente podrían ser afectados por el desarrollo de las actividades del Proyecto. Estos componentes son ordenados de acuerdo al subsistema ambiental (figura: 2.11). [47]

Tabla 2.10. Actividades del proyecto

MEDIO NATURAL	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL
FÍSICO	ATMOSFERA	Aire
		Ruido
	SUELO	mejoramiento de suelo
		Erosión
AGUA	Variación de la calidad del agua por sedimentos y/o, derrames.	
BIOLÓGICO	FLORA	Mejoramiento de Cobertura vegetal
		Variación de especies vegetales
	FAUNA	Aumento de Fauna
	PROCESOS ECOLÓGICOS	Biodiversidad
ESTÉTICO	PAISAJE	Calidad visual
SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL	ECONÓMICO	Empleo Temporal y permanente
		Ingresos económicos
	SOCIAL	Educación
		Conflictos
		Salud

Fuente: Estudio de impacto ambiental de drenaje-Ayacucho.

2.6 Modelo numérico con GeoStudio

El análisis de la estabilidad de las estructuras de tierra es el tipo más antiguo de análisis numérico en ingeniería geotécnica. La idea de discretizar una posible masa deslizante en rodajas se introdujo a principios del siglo XX.

El software de equilibrio límite moderno hace posible manejar una complejidad cada vez mayor dentro de un análisis. Ahora es posible tratar con estratigrafía compleja, presión de agua de poro muy condiciones irregulares, varios modelos de resistencia al corte lineal y no lineal, casi cualquier tipo de forma de superficie deslizante, cargas concentradas y refuerzo estructural. Las formulaciones de equilibrio Límite basadas en el método de Las rebanadas también se están aplicando cada vez más al análisis de estabilidad de estructuras tales como muros de amarre, pendientes reforzadas con clavos o tela, e incluso la estabilidad al deslizamiento de las estructuras sometidas a una alta horizontal carga que surja, por ejemplo, de los flujos de hielo. [49]

GeoStudio, paquete de software para la solución de problemas geotécnicos y el modelado de estructuras de tierra que consiste en 8 productos:

1. **SLOPE/W** : para cálculo de estabilidad de taludes, que será el usado en los modelos.
2. **SEEP/W** : para cálculo de redes de flujo.
3. **SIGMA/W** : orientado al cálculo tensodeformacional.
4. **QUAKE/W** : para cálculo de los efectos de sismos en suelos y estructuras de suelos (presas, terraplenes, etc)

Tabla 2.11. Matriz de Leopold.

ACCIONES			Etapa de Planificación				Etapa de Construcción							Fase de Operación y Mantenimiento				Etapa de Cierre y Abandono			Resultados Ambientales																																																																	
														Sistema de Reforestación																																																																								
COMPONENTES			Licitación de construcción				Selección y Contratación de personal				Desplazamiento de personas a la zona del proyecto				Trabajos Preliminares				Transporte y movilización de equipos y materiales				Limpieza del terreno				Construcción de sistemas de drenaje				Instalación de geomantas				plantación de gras natural				plantación de árboles y arbustos				Mejoramiento paisajístico				Riego de Plantas				Poda de árboles, abustos y gras natural				Limpieza de la reforestación				Verificación al sistema de reforestación				Retiro de infraestructura temporal				Eliminación de material excedente				Revegetación				Valores negativos				Valores positivos				Total de impactos			
			FÍSICO	ATMÓSFERA	Aire	0	0	0	-1	-1	-2	-2	3	6	6	9	0	0	-2	0	-2	-2	9	-12	33	45																																																												
Ruido	0	0			0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	5	-8	5	13																																																															
SUELO	Mejoramiento de suelo	0		0	0	0	0	0	-5	3	5	8	9	0	0	0	0	0	0	9	-5	34	39																																																															
	Erosión	0		0	0	-4	-4	0	-4	5	5	3	3	0	0	0	0	-1	-1	6	-14	22	36																																																															
AGUA	Variación de la calidad del agua por sedimentos y/o derrames	0		0	0	-2	-2	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0	-2	-3	1	-12	1	13																																																															
BIOLÓGICO	FLORA	Mejoramiento de cobertura vegetal	0	0	0	0	-1	-1	-2	0	3	9	8	3	-1	0	0	-1	-1	9	-7	32	39																																																															
		Variación de especies vegetales	0	0	0	0	-1	0	0	0	2	6	8	1	0	0	0	-3	-3	6	-7	23	30																																																															
	FAUNA	Aumento de Fauna	0	0	0	0	0	-4	-3	1	5	6	8	0	-1	0	0	-1	-1	8	-10	28	38																																																															
		PROCESOS ECOLÓGICOS	Biodiversidad	0	0	0	-3	-2	0	0	1	4	5	8	1	1	0	-1	-1	-2	8	-9	28	37																																																														
ESTÉTICO	PAISAJE	Calidad visual	0	0	0	-1	-2	-2	-2	4	5	6	2	2	2	1	4	3	8	-9	37	46																																																																
SOCIOECONOMICO Y CULTURAL	ECONÓMICO	Empleo temporal y permanente	0	0	0	6	4	6	8	8	5	5	7	4	4	4	4	5	5	7	0	82	82																																																															
		Ingresos económicos	4	4	5	5	5	5	7	6	5	5	6	2	2	2	2	5	5	6	0	81	81																																																															
	SOCIAL	Educación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	4	5	4	0	0	6	0	30	30																																																															
		Conflictos	0	-4	-4	-5	-3	-5	-4	-4	-4	-3	5	0	0	0	0	0	0	5	-36	10	46																																																															
		Salud	0	0	0	-2	0	-5	-4	-4	5	4	8	6	-2	5	5	4	5	8	-17	50	67																																																															
TOTAL DE IMPACTOS																			-146	496	642																																																																	

Fuente: Elaboración propia.

5. **TEMP/W** : aplicación de la ecuación del calor sobre estructuras de suelos.
6. **CTRAN/W**: aplicado a fenómenos de contaminación de suelos
7. **AIR/W** : para el análisis flujo de aire.
8. **VADOSE/W**: usado en la modelización de acuíferos.

Todo los componentes mencionados anteriormente se muestra en la figura: 2.22.

Figura 2.22. Paquetes de software GeoStudio.



Fuente: Extraído del software GeoStudio.

Para resolver un problema se deben tomar en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras son de equilibrio, las segundas describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas en cuanto los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.

En la mayor parte de los casos nos encontramos con material que si bien es saturado, es también por lo menos bifase, lo que hace el uso de la ecuación de equilibrio notoriamente complicado. Además es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, en cuanto los terrenos presentan un comportamiento no-lineal aún en el caso de pequeñas deformaciones. A causa de dichas dificultades se introducen hipótesis simplificativas: [50]

1. Se usan leyes constitutivas simplificadas modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del material se expresa únicamente con los parámetros cohesión (C) y ángulo de rozamiento (ϕ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico, por lo tanto se supone válido el criterio de rotura de Mohr Coulomb.
2. En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

Para el modelo de la estabilidad de talud del Cerro de la Picota se toma el paquete de **SLOPE/W** cuyo análisis se define con las siguientes metodologías.

2.6.1. Método del equilibrio límite (MEL)

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), valorada según el criterio de

rotura de Coulomb; de tal comparación se deriva la primera indicación sobre la estabilidad con el coeficiente de seguridad:

$$F = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (2.8)$$

Entre los métodos del equilibrio último, algunos consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman), otros, por motivos de la ausencia de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas considerando el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.). [50]

2.6.2. Método de las rebanadas

La masa concerniente al deslizamiento se subdivide en un número conveniente de rebanadas. Si el número de las rebanadas es igual a n , el problema presenta las siguientes incógnitas:

n valores de las fuerzas normales N_i operantes en la base de cada rebanada;

n valores de las fuerzas de corte en la base de la rebanada T_i

$(n - 1)$ fuerzas normales E_i operantes en la conexión de las rebanadas;

$(n - 1)$ fuerzas tangenciales X_i operantes en la conexión de las rebanadas;

n valores de la coordenada a que individua el punto de aplicación de las E_i ;

$(n - 1)$ valores de la coordenada que individua el punto de aplicación de las X_i

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 los momentos n

Ecuaciones de equilibrio en la traslación vertical n

Ecuaciones de equilibrio en la traslación horizontal n

Ecuaciones relativas al criterio de rotura n

Total número de ecuaciones $4n$

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

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2 \quad (2.9)$$

El grado de indeterminación se reduce sucesivamente a $(n - 2)$ cuando se asume que N_i se aplica en el punto medio de la franja, esto equivale a crear la hipótesis de que las tensiones normales totales sean distribuidas uniformemente. Los diversos métodos que se basan en la teoría del equilibrio límite se diferencian por el modo en que se eliminan las $(n - 2)$ indeterminaciones. [50]

2.6.3. Método de MORGENSTERN y PRICE

Se establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión (E) de tipo:

$$X = \lambda f_{(x)} E \quad (2.10)$$

donde:

λ es un factor de escala y

$f_{(x)}$, función de la posición de E y de X ,

define una relación entre las variaciones de la fuerza X y de la fuerza E al interno de la masa deslizante. La función $f_{(x)}$ se escoge arbitrariamente (constante, senoide, semisenoside, trapecio, fraccionada) e influye poco sobre el resultado, pero se debe verificar que los obtenidos para las incógnitas sean físicamente aceptables.

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

Se obtiene la llamada “ecuación de las fuerzas”:

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg\phi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \frac{dE}{dx} - tg\alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \quad (2.11)$$

Una segunda ecuación, llamada “ecuación de los momentos”, se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base: [51]

$$X = \frac{d(E\gamma)}{dx} - \frac{dE}{dx} \quad (2.12)$$

éstas dos ecuaciones se extienden por integración a toda la masa implicada en el deslizamiento. El método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio y se aplica a superficies de cualquier forma, pero implica necesariamente el uso de una hoja de cálculo o como mínimo de una calculadora.

2.6.4. Método de SPENCER

El método se basa en la afirmación:

Las fuerzas de conexión a lo largo de las superficies de división de cada rebanada están orientadas paralelamente entre ellas e inclinadas con respecto a la horizontal de un ángulo θ .

Todos los momentos son nulos $M_i = 0 \quad i = 1, \dots, n$

Sustancialmente 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 los momentos respecto al centro del arco descrito por la superficie de deslizamiento se tiene:

1.

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0 \quad (2.13)$$

donde:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_W h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + tg \varphi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]} \quad (2.14)$$

fuerza de interacción entre las rebanadas aplicada en el punto medio de la base de la rebanada i-ésima;

R =radio del círculo.

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

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

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad (2.15)$$

$$\sum (Q_i \sin \theta) = 0 \quad (2.16)$$

Con la asunción de las fuerzas Q_i paralelas entre ellas, se puede también escribir:

2.

$$\sum Q_i = 0 \quad (2.17)$$

El método propone calcular dos coeficientes de seguridad: el primero (F_{sm}) se obtiene de 2.13, ligado al equilibrio de los momentos; el segundo (F_{sf}) de 2.17, ligado al equilibrio de las fuerzas. En práctica se procede resolviendo la ecuación 2.13 y la 2.17 para un dado intervalo de valores del ángulo θ , considerando como valor único del coeficiente de seguridad aquel para el cual se tiene $F_{sm} = F_{sf}$. [50]

2.6.5. Método de JANBU

Janbu extendió el método de Bishop a superficies de deslizamiento de cualquier forma. Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares queda constante e igual al radio) por tal motivo es mejor valorar la ecuación del momento respecto al ángulo de cada bloque.

$$F = \frac{\sum \{c * b + (W - u * b + \Delta X) * \tan \varphi\} * \frac{\sec^2 \alpha}{1 + \tan \alpha \frac{\tan \varphi}{F}}}{\sum W * \tan \alpha} \quad (2.18)$$

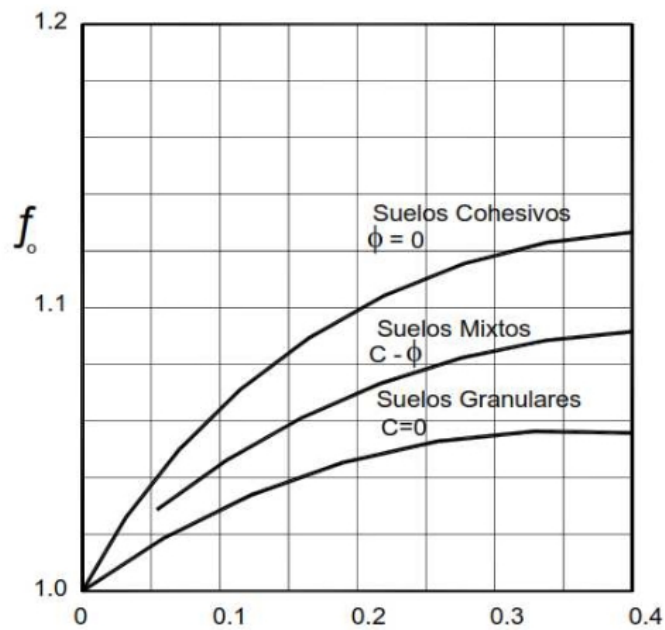
Asumiendo $\Delta X = 0$ se obtiene el método ordinario.

Janbu propuso además un método para la corrección del factor de seguridad obtenido con el método ordinario según lo siguiente:

$$F_{corregido} = f_o * F \quad (2.19)$$

donde f_o se obtiene con funciones gráficas en función de la geometría y los parámetros geotécnicos del terreno. Tal corrección es muy confiable para taludes poco inclinados [50] tal como muestra el siguiente ábaco:2.23.

Figura 2.23. Ábaco para obtener el factor de corrección .



Fuente: Adaptado de [50].

2.6.6. Método de SARMA

El método de **Sarma** es simple pero esmerado en el análisis de estabilidad de taludes, permite determinar la aceleración sísmica horizontal necesaria para que la acumulación de terreno, delimitado 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 recabar el usual factor de seguridad obtenido con los otros métodos más comunes de la geotécnica. 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 que se deben tener en consideración son:

1. La ecuación de equilibrio en la traslación horizontal de cada rebanada;
2. La ecuación de equilibrio en la traslación vertical de cada rebanada;
3. La ecuación de equilibrio de los momentos.

Condiciones de equilibrio en la traslación horizontal y vertical:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i \tag{2.20}$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i \tag{2.21}$$

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

$$\sum \Delta E_i = 0 \tag{2.22}$$

$$\sum \Delta X_i = 0 \quad (2.23)$$

donde E_i y X_i representan, respectivamente, las fuerzas horizontales y verticales en la cara i -ésima de la rebanada genérica i .

La ecuación de equilibrio de los momentos se escribe seleccionando como punto de referencia el centro de gravedad de toda la aglomeración; 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 pasa a través de la resolución de dos ecuaciones:

$$\sum \Delta X_i * tg(\psi_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \sum W_i \quad (2.24)$$

$$\sum \Delta X_i [(Y_{mi} - Y_G) tg(\psi_i - \alpha) + (X_i - X_G)] = \sum W_i (X_{mi} - X_G) + \sum \Delta_i (Y_{mi} - Y_G) \quad (2.25)$$

Pero el acercamiento resolutivo, en este caso, es 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 la de encontrar una distribución de fuerzas internas X_i y E_i tal que verifique el equilibrio de la rebanada y el global del interior de la acumulación, sin violar el criterio de rotura.

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

$$\Delta X_i = \lambda * \Delta Q_i = \lambda * (Q_{i+1} - Q_i) \quad (2.26)$$

donde Q_i es una función conocida, donde se toman en cuenta los parámetros geotécnicos medios 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 interacciones, con los valores de K_c , λ y F , que permiten obtener también la distribución de las fuerzas entre las franjas. [50]

2.6.7. Método de BISHOP

Con este método no se descuida ninguna contribución de fuerzas operantes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales.

Las ecuaciones usadas para resolver el problema son:

$$\sum F_V = 0 \quad (2.27)$$

$$\sum M_0 = 0 \quad (2.28)$$

Criterio de rotura.

$$F = \frac{\sum \{c_i * b_i + (W_i - u_i * b_i + \Delta X_i) * \tan \varphi\} \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \frac{\tan \varphi}{F}}}{\sum W_i * \sin \alpha_i} \quad (2.29)$$

Los valores de F y de ΔX para cada elemento que satisfacen esta ecuación dan una solución rigurosa al problema. Como primer aproximación conviene escribir $\sum X = 0$ e iterar para el cálculo del factor de seguridad, tal procedimiento es conocido como método de **Bishop ordinario**, los errores cometidos con respecto al método completo son de alrededor de un 1%. [50]

2.6.8. Método de ORDINARY (FELLENIOUS)

Con este método (válido solo para superficies de deslizamiento circulares), no se tienen en cuenta las fuerzas entre las rebanadas, por lo tanto las incógnitas se reducen a:

- n valores de las fuerzas normales N_i ;
- n valores de las fuerzas de corte T_i ;
- 1 factor de seguridad.
- Incógnitas $(2n + 1)$

Las ecuaciones a disposición son:

n ecuaciones de equilibrio traslación vertical;

n ecuaciones relativas al criterio de rotura;

1 ecuaciones de equilibrio de los momentos globales.

$$F = \frac{\sum \{c_i l_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi_i\}}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (2.30)$$

Esta ecuación es fácil de resolver pero se ha visto que da resultados conservadores (factores de seguridad bajos) especialmente para superficies profundas, por lo que puede usarse como límite inferior, si se usan varios métodos o como valor de arranque en métodos iterativos. [50]



3

Materiales y métodos

Para el modelamiento numérico de la estabilidad del talud del “Cerro de la Picota” se calcula mediante el método de los elementos finitos o diferencias finitas para obtener el factor de seguridad de acuerdo a las condiciones de los parámetros del terreno en la zona de estudio.

Como material para el cálculo del factor de seguridad se optó por **GeoStudio 2012** que es un software de análisis en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc.

Para el modelo numérico se utiliza los paquetes de **SLOPE/W** que es netamente para el análisis de la estabilidad de ladera del “Cerro de la Picota”.

3.1 Características del paquete SLOPE/W

El programa a cuyo uso nos vamos a introducir tiene fundamentalmente en su versión 2012, de forma extendida, las siguientes características:

3.1.0.1. Métodos de cálculo:

El programa permite realizar los cálculo de estabilidad a través de una gran variedad de métodos :

1. Morgenstern-Price
2. Spencer
3. Corps of Engineers # 1
4. Corps of Engineers # 2
5. Lowe-Karafiath
6. Janbu Generalized
7. sarma (vertical slices only)
8. Bishop
9. Janbu
10. Ordinary

11. SIGMA/W Stress
12. QUAKE/W Stress
13. QUAKE/W Newmark Deformation

Que se consideran suficientes para un estudio de cierto nivel de un talud, para los cálculos que vamos a desarrollar se van a usar simultáneamente los siguientes métodos:

1. Morgenstern-Price
2. Spencer
3. Bishop simplificado
4. Ordinary (Fellenius)

3.1.0.2. Geometría y estratigrafía:

La introducción de los condicionantes geométricos son muy versátiles y se adaptan prácticamente a cualquier geometría:

1. Geometría adaptable a cualquier contorno estratigráfico mediante herramientas gráficas a través de la definición de regiones.
2. Definición de grietas de tracción.
3. Permite modelizar suelos parcialmente sumergidos.

3.1.0.3. Superficies de deslizamiento:

Dispone de distintos sistemas de modelización de las superficies de rotura:

1. Malla de centros y límites de radios.
2. Superficies de rotura poligonales, con o sin centro.
3. Por bloques.
4. Zonas de entrada salida acotando los posibles círculos de rotura.
5. Optimización de búsqueda de superficies de rotura.
6. Posicionamiento automática de grietas de tracción.

3.1.0.4. Presión hidrostática:

Se puede modelizar las acciones de la presión de poro, en el terreno a través de los siguientes sistemas:

1. Coeficiente de presión de agua, R_u .
2. B-bar.
3. Línea piezométrica.
4. Línea piezométrica con R_u .

5. Línea piezométrica con B-bar
6. Función de altura piezométrica.
7. Otros análisis basados en archivos de Seep, Sigma donde ya se han creado los campos de presiones de poro.

No todas estas posibilidades están disponibles en la versión usada, manejaremos la opción de línea piezométrica, bastante intuitiva y suficiente en la mayoría de los casos.

3.1.0.5. Propiedades de los suelos:

Con objeto de modelizar el comportamiento de los suelos el programa dispone de varios modelos de comportamiento de los materiales implicados en el problema a solucionar entre otros:

1. Modelo de Mohr-Coulom.
2. No drenado (Undrained $\phi = 0$, $\tau = c$)
3. Bedrock (material de resistencia infinita)
4. Modelo de rotura bilineal (Bilinear)
5. Incrementos de la resistencia al corte con la profundidad.
6. Resistencia al corte anisótropa.
7. Criterios de rotura específicos.

3.1.0.6. Tipos de cargas:

1. Cargas superficiales
2. Cargas lineales.
3. Cargas sísmicas
4. Anclajes y bulones (activos y pasivos)
5. Suelo reforzado

3.2 Área de estudio

La zona de estudio de la investigación de “TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA - HUAMANGA - AYACUCHO”, que geográficamente se encuentra enmarcada entre las siguientes coordenadas que remarca el perfil longitudinal del talud como inicio del talud que se considera como la parte alta de la pendiente del talud y el final del talud se considera al pie del talud con un promedio de altitud de 3078 m.s.n.m. las coordenadas es como muestra la siguiente Tabla: 3.1

Se encuentra en el Distrito de Ayacucho, Provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho. El acceso está al borde de la carretera Ayacucho-Lima (Vía Los Libertadores), cuenta con un área aproximadamente de 32865 m^2 y perímetro de 892 m. la ubicación de

Tabla 3.1. Coordenadas del perfil longitudinal

Perfil	Coordenada				Zona
	Inicio del Talud	Latitud	13.° 9'26.03"S	Este	
	longitud	74.° 14'32.68"O	Norte	8545353.00	
Final del Talud	Latitud	13.°,9'30.40"S	Este	582403.00	18L
	longitud	74.° 14'22.74"O	Norte	8545218.00	

Fuente: Extraído de Google Earth

la zona de estudio esta como muestra el Plano 01 y 02.

El lugar de la zona de estudio se caracteriza por presentar una topografía muy accidentada donde es considerado como riesgo ante el deslizamiento del talud ante fenómenos naturales como sismo o por la presencia de precipitación máxima donde puede ocasionar grandes pérdidas humanas y deterioro de las edificaciones que se encuentran a su paso. Tal como muestra la figura: 3.1.

Figura 3.1. Zona por donde pasa el perfil longitudinal



Fuente: Fotografía en zona de estudio

3.3 Aspectos técnicos del modelo numérico del talud

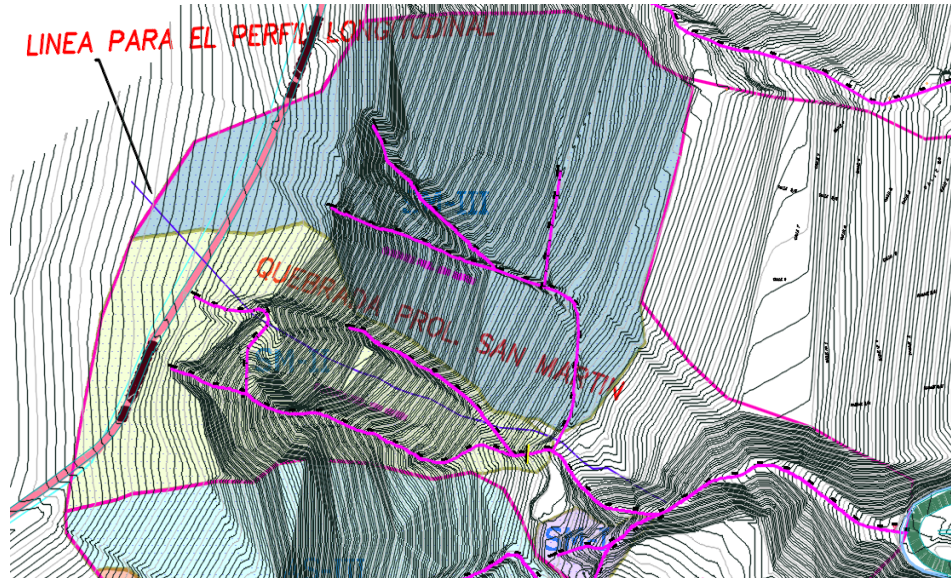
3.3.1. Topografía del área de estudio

En la topografía se considera el talud más crítico de la ladera del “Cerro de la Picota” del Distrito de Ayacucho que cuyo ubicación ya se indica en la tabla: 3.1, de donde se obtiene el perfil generado en el software Civil 3D en su versión 2017 que será importado desde GeoStudio en el formato .DXF, para cada capa de la estratigrafía del suelo se ha

considerado como polígonos cerrados para que reconozca el software al importar para dicho modelo numérico.

El perfil topográfico de la superficie accidentada en vista en planta es como muestra las curvas nivel (Figura:3.2).

Figura 3.2. Zona por donde pasa el perfil longitudinal



Fuente: Extraído desde planos de Municipalidad de Huamanga.

3.3.2. Parámetros para el cálculo del talud

Para el modelo numérico del factor de seguridad en la estabilidad del talud del “Cerro de la Picota” se tiene los siguientes datos de cada estrato de suelo que se obtuvo del análisis de laboratorio con sus características de los resultados de γ , C y ϕ en su estado saturado que se muestra en la siguientes tabla (3.2):

Tabla 3.2. Datos de campo es su estado saturado

Parámetros en su estado saturado					
Estrato	Ø	Peso específico		cohesión	
		g/cm3	KN/m3	Kg/cm2	Kpa
E1	28.80	1.70	16.67	0.00	0.00

Fuente: Datos de laboratorio (corte directo).

El estrato se define en las siguientes condiciones:

E1 : Según las pruebas de laboratorio en el punto de análisis se identificó como arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduados (SM). En el software definimos como *Estrato_01*.

Para este caso de la tabla: 3.3 se tiene como dato de la cohesión de raíz de un árbol de 6.6 KPa. por lo tanto se le está sumando a la cohesión normal de la tabla: 3.2 y con respecto al ángulo de fricción se toma el promedio con el valor de 36° y los parámetros del ángulo

de fricción del estado saturado.

Tabla 3.3. Datos de campo (C+CR)

Parámetros adicionando la cohesión de la raíz					
Estrato	Ø	Peso específico		cohesión	
		g/cm ³	KN/m ³	Kg/cm ²	Kpa
E1	32.40	1.70	16.67	0.00	6.60

Fuente: Elaboración propia

Donde:

γ : Peso específico en KN/m^3

ϕ : Angulo de fricción interna en grados centesimales

C : Cohesión en KPa.

3.3.3. Ensayos realizados

Para el análisis con el software GeoStudio en los modelos numéricos los datos de entrada de peso específico (γ), ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión C son obtenidos desde una calicata realizado en la zona de estudio del Cerro de la Picota donde a una profundidad de 2.00 m se hizo la densidad de campo donde cuyos datos obtenidos son:

1. Peso del cono más la arena es 8530 g.
2. Peso del cono más la arena vacía es 3760 g.
3. Peso del suelo es 3954 g.

Estos datos requeridos para hacer el ensayo del corte directo donde los resultados son como muestra la tabla: 3.2.

Para los datos de los ensayos de los raíces tanto como el ϕ , C son extraídos de los datos investigados por el autor Colin O'loughlin y Robert Ruhl Ziemer publicados en un artículo en el país de Estados Unidos, estos datos se muestra en la tabla: 2.4.

Para el modelo, el acción de las raíces con el suelo se consideran como pilotes según el autor Hugo M. Schiechl en 1980 en país de Canadá con esta referencia se hace el análisis de la estabilidad del talud donde como dato se requiere la fuerza de corte (Shear Force), éste valor se extrae del artículo publicado por B.B. Docker y T.C.T. Hubble en 2006 realizada una investigación en la universidad de Sydney en Australia, los datos obtenidos de la resistencia a la tensión en laboratorio se encuentra en la tabla: 2.3.

El comportamiento mecánico de las raíces de los árboles son realizados con equipos específicos que dicho prueba normalmente se ejecuta en lugar de origen, en este caso para los ensayos realizados en-situ son:

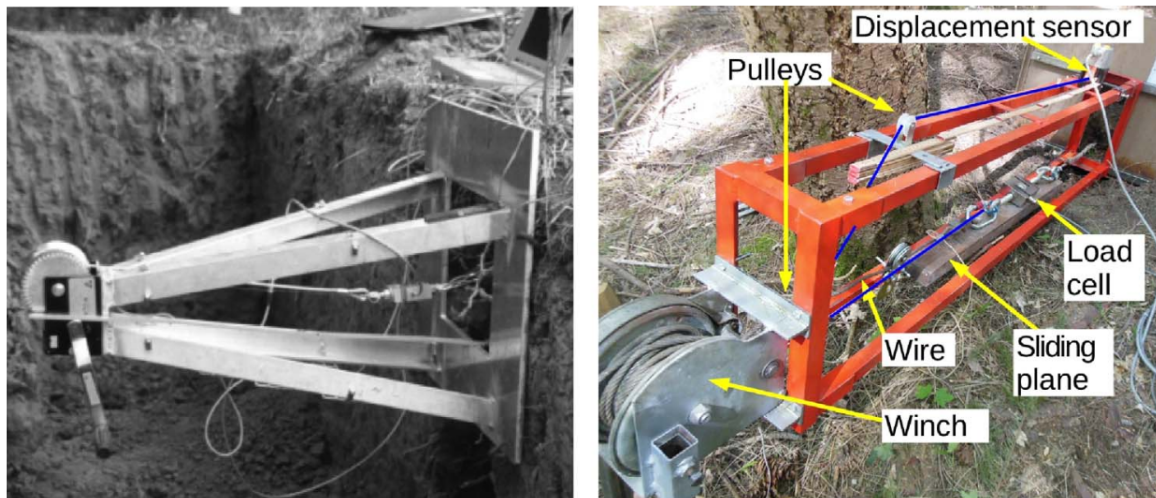
1. Por F. Giadrossich en el departamento de agricultura de la universidad de Sassari en Italia y en Geneva Suiza.
2. Por M. Schwarz, C. Vergani en la universidad de Ciencias Aplicadas de Berna en Zollikofen Suiza.

3. Por D. Cohen en el departamento de ciencias de la tierra y medio ambiente en Mexico y EE.UU.
4. Por A. Cislighi en el departamento de ingeniería agrícola de la universidad de Milano en Italia.
5. por T. Hubble en la escuela de geociencias en la universidad de Sydney en Australia.
6. Por C. Phillips en Nueva Zelanda.
7. Por A. Stokes en la universidad de Montpellier en Francia.

En latinoamericana también hay hallazgos encontrados de los estudios publicados en el artículo de “Influencia de la cohesión aparente generada por raíces sobre la estabilidad de un talud natural en las dunas de Reñaca” en la Pontificia Universidad Católica de Chile por Sanhueza C. y Villavicencio G. de la universidad Católica de Valparaíso también de Chile en año del 2012.

En la figura: 3.3 se muestra el equipo con manivela para la medición de la resistencia a la tensión.

Figura 3.3. Ensayo de la resistencia a la tensión



Fuente: extraído del libro de Ecological Engineering.

3.4 Modelamiento numérico

GeoStudio es un software que contiene 8 paquetes para este modelo numérico se utiliza específicamente el SLOPE/W que se encarga del análisis de taludes.

3.4.1. Criterios de simulación de la aplicación software GeoStudio-SLOPE/W

Para el desarrollo de la simulación y cálculo de la estabilidad de talud del “Cerro de la Picota” con el software GeoStudio, se requiere establecer algunos criterios fundamentales:

1. Para facilitar los cálculos numéricos, los estratos que conforman el perfil geológico se ha tomado los datos de la zona más crítico del “Cerro de la Picota”.
2. En la definición de los materiales de cada estrato para este modelo se considera el análisis con Mohr-Coulomb.

3.4.2. Condiciones generales para el modelo

Para la obtención de resultados aproximados a los reales y confiables, se debe establecer algunas condiciones para el escenario planteando para la simulación.

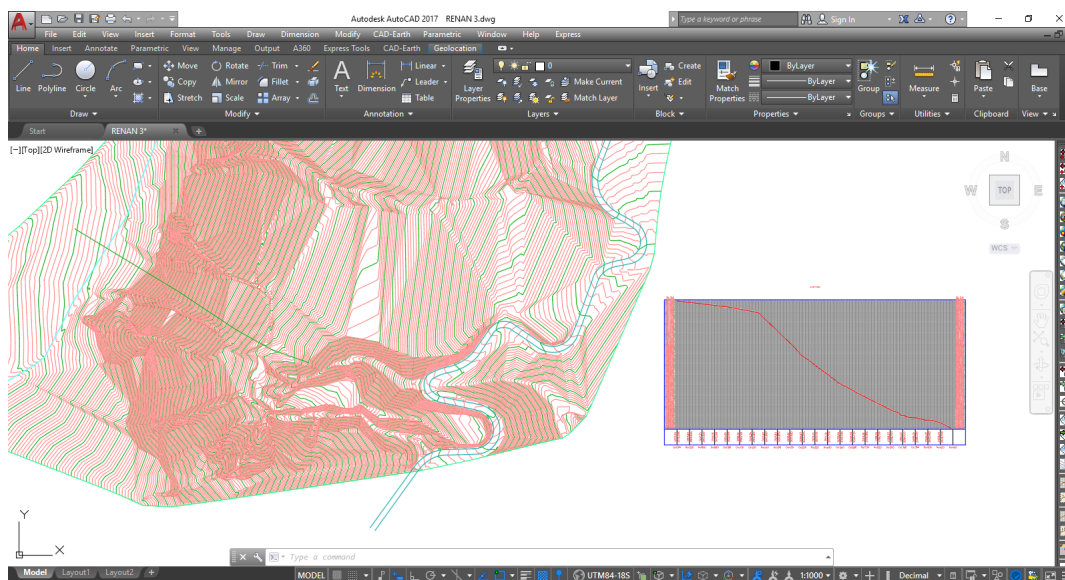
Establecemos las condiciones de frontera dentro de nuestro escenario planteado de a siguiente manera:

3.4.2.1. Parámetros de ingreso al software GeoStudio-SLOPE/W

Los parámetros que el programa necesita para el desarrollo de simulación son los siguientes:

1. El perfil geométrico generado desde curvas de nivel tal como muestra la figura: 3.4.
2. El perfil estratigráfico de la zona de estudio definido según los análisis de laboratorio de cada estrato.
3. Las características de cada uno de los materiales o estratos del perfil estratigráfico, en este caso los valores de γ , ϕ y c .

Figura 3.4. Perfil geométrico

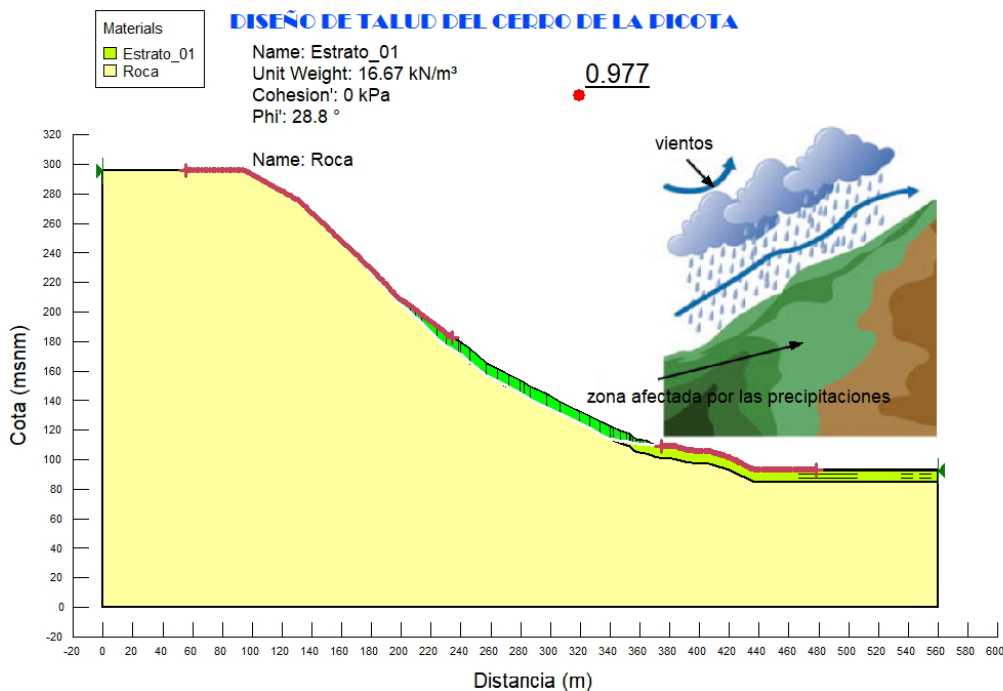


Fuente: Generado en el software Civil 3D 2017

3.4.3. Cálculo de FS con materiales es su estado saturado

Para este modelo se utiliza el método de Bishop y los datos que requiere el software GeoStudio se tomó de la tabla: 3.2 donde los datos son de la prueba de laboratorio en su estado saturado en casos de la de presencia de precipitaciones máximas como se observa

Figura 3.5. Modelo 01 con parámetros del suelo en su estado saturado



Fuente: Generado en el software GeoStudio

en la figura: 3.5.

El dato del estado saturado se considera en su forma crítica para este análisis de la estabilidad del talud en el Cerro de la Picota, pero cabe señalar que con las precipitaciones máximas no es posible saturarse toda la superficie del suelo de la ladera, solo por cuestiones de cálculo se considera el suelo en su estado saturado.

Los efectos de la lluvia sobre la estabilidad de taludes pueden causar las filtraciones del agua, erosión y sedimentación que puede debilitar el suelo del talud luego fallar por deslizamiento, el factor de seguridad para este modelo es **0.977** con este dato se nota que falla el talud ante la presencia del fenómeno natural que es la precipitación máxima.

3.4.4. Cálculo de FS con Parámetros adicionando la cohesión de la raíz

Para este modelo se utiliza el método de Bishop y se ha investigado diferentes libros de donde se ha resumido datos como en el caso de la propuesta reforestar, se considera reforestar en la parte baja de la pendiente del talud con arboles de máxima altura mientras en las partes altas del talud con arbustos por efectos de sismo y viendo que pueden ser los fenómenos causantes de falla por rotura del talud tal como muestra la figura: 2.10.

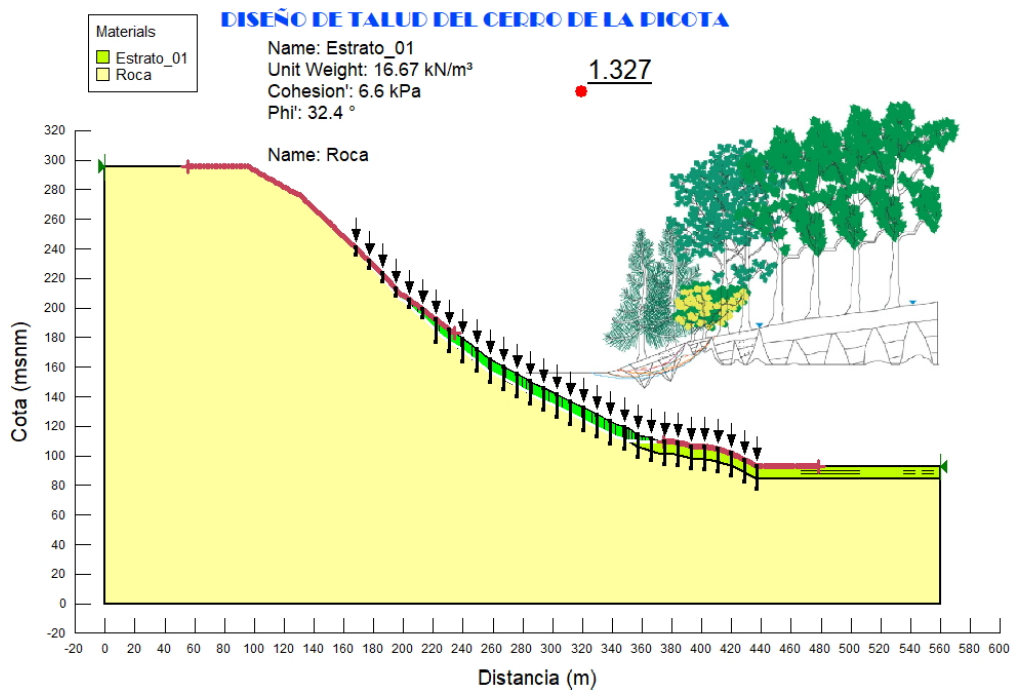
En el modelo se consideró la longitud de la raíz de los arboles de 15.00m y de los arbustos 5.00m, también según las investigaciones la raíz de los árboles se considera como pilotes por esta razón en el dato del software se asigna el valor de 49.59 KN que se obtuvo de la tabla:2.3, cuyo dato se obtiene de la tensión de la fuerza de la raíz. y 20.00 KN para los arbustos aunque estos datos no influye en el cálculo. La separación entre arboles es de 3.00

metros y 2.00 metros para los arbustos según se ha considerado en el cálculo en el estudio edafológico.

Los datos de C_R que es la cohesión aparente aportada de las raíces se considera de acuerdo a la ecuación 2.5, y los datos para definir los materiales se obtiene de la tabla: 3.3 y el valor de $C_R = 6,6\text{KPa}$ se obtuvo de la tabla:2.4.

El resultado del factor de seguridad es **1.327** que considerablemente aumento el resultado del factor de seguridad con la reforestación como muestra la figura: 3.6.

Figura 3.6. Modelo 02 con parámetros del suelo adicionando la cohesión de la raíz



Fuente: Generado en el software GeoStudio



Resultados y discusión

Los resultados de esta investigación comprueban las hipótesis propuestas. Se propone interpretar y analizar los resultados de la investigación de donde saldrán los elementos para plantear las conclusiones.

4.1 Análisis y cálculo del factor de seguridad

En la ingeniería se emplean el factor de seguridad para asegurarse contra condiciones inciertas o desconocidas.

Interpretación de factores de seguridad:

1. Un factor de seguridad de 1.0 significa que el material que se encuentra en esa ubicación ha empezado a fallar.
2. Un factor de seguridad superior a 1.0 significa que el material que se encuentra en esa ubicación es seguro.
3. El material que se encuentra en una ubicación empezará a fallar si aplica nuevas cargas iguales a las actuales multiplicadas por el factor de seguridad resultante, teniendo en cuenta que las tensiones/deformaciones unitarias permanecen en el intervalo lineal.

Para realizar los análisis de estabilidad se tomó en cuenta el modelo conceptual con los datos ya definidos anteriormente, luego fueron realizados el análisis con el objetivo de comparar los resultados, para los resultados de comparación del factor de seguridad se utilizó el método de **Bishop simplificado**.

Los resultados del factor de seguridad se calculó con los diferentes métodos como: Morgenstern-Price, Spencer, Bishop y Ordinary; estos métodos se tuvo en consideración de acuerdo a resultados cercados para obtener un promedio adecuado como muestra la tabla: 4.1.

En el siguiente gráfico: 4.1 se nota la variación de los resultados del factor de seguridad, donde la interpretación consiste en:

1. El factor de seguridad en el estado saturado se encuentra muy debajo de 1, esto se debe a que hay presencia de precipitaciones máximas y los estratos de los suelos se consideran saturados, debido a éste fenómeno es la falla del talud según indica el resultado.

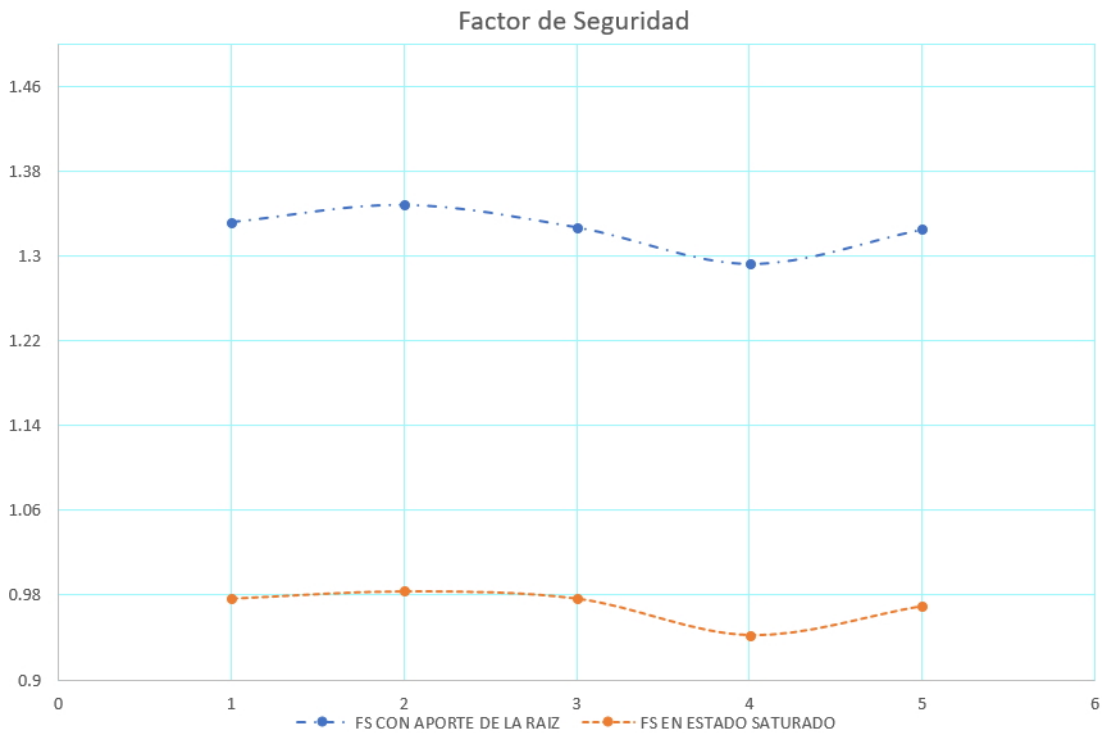
Tabla 4.1. Factor de seguridad con los diferentes métodos.

RESULTADOS DEL CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD		
DESCRIPCION	FS EN ESTADO SATURADO	FS CON APOORTE DE LA RAIZ
01.- Morgenstern-Price	0.977	1.332
02.- Spencer	0.984	1.348
03.- Bishop	0.977	1.327
04.- Ordinary	0.942	1.293
PROMEDIO	0.970	1.325

Fuente: Resultados obtenidos de GeoStudio.

- El factor de seguridad con el aporte de la raíz se encuentra muy arriba sobre el resultado en el estado saturado, este caso sucede porque efectivamente las raíces cumplen la función de anclaje en forma de pilotajes.

Figura 4.1. Gráfica de factor de seguridad

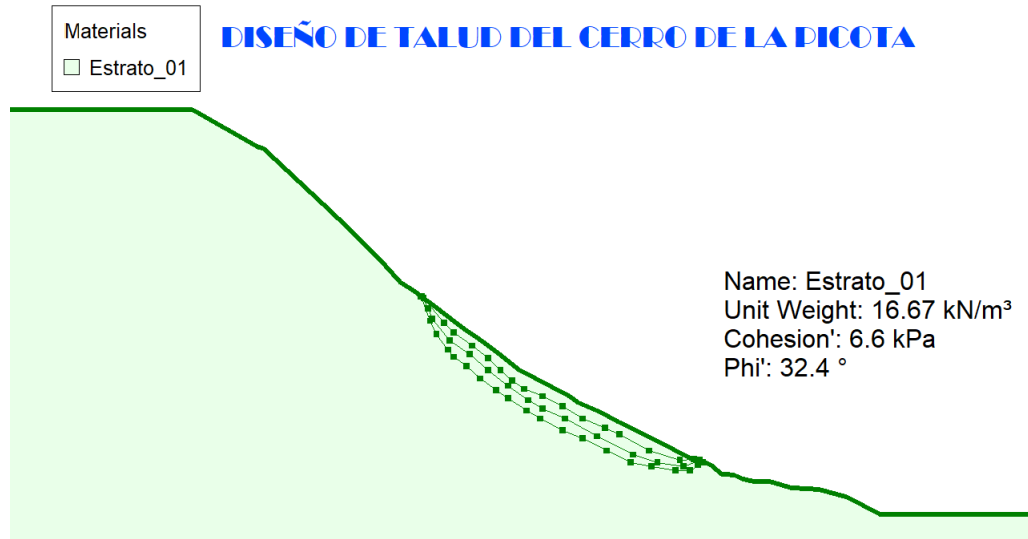


Fuente: Generado en el software excel

Para contrastar la hipótesis planteado hacemos la comparación de resultados del factor de seguridad en donde el efecto de las raíces sobre la estabilidad del talud tiene la funcionalidad como un anclaje para estabilizar las laderas ante el deslizamiento de la falla del talud. El resultado del factor de seguridad aumenta respecto a los datos de los parámetros en estado saturado en un 26.792%, este resultado es con el aporte de $C_R = 6,6KPa$ que es la cohesión aparente y 36° ángulo de fricción aportada por las raíces.

4.2 Resistencia cortante a mayores profundidades

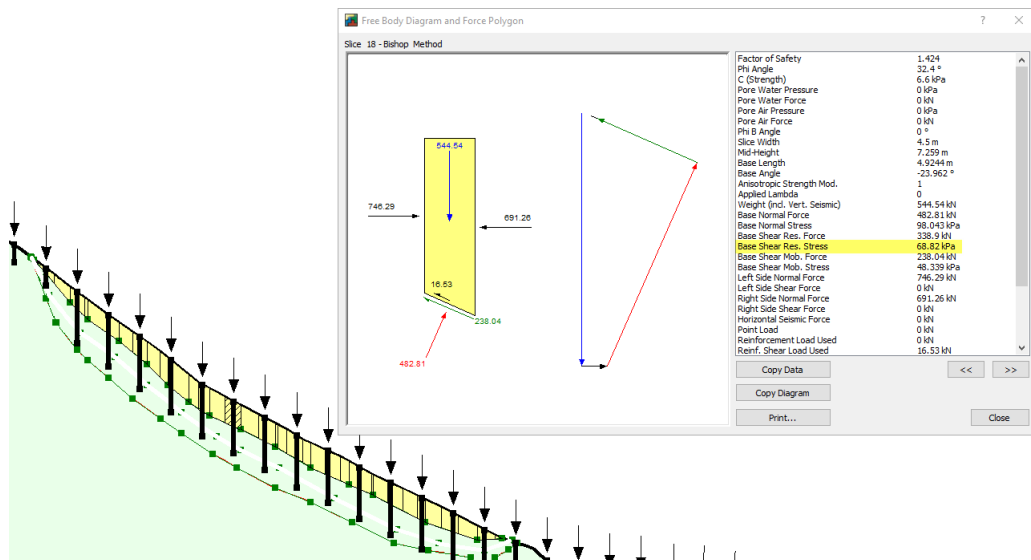
Figura 4.2. Profundidades de análisis



Fuente: Generado en el software GeoStudio.

Para el análisis de la resistencia cortante a mayores profundidades se define tres líneas de falla a diferentes alturas para determinar la tensión de resistencia al corte en la base de cada línea de falla como muestra la figura 4.2. La primera línea de falla definida se encuentra a una profundidad de 7.00 m, la segunda a 13.00 m y la tercera a 18.00 m.

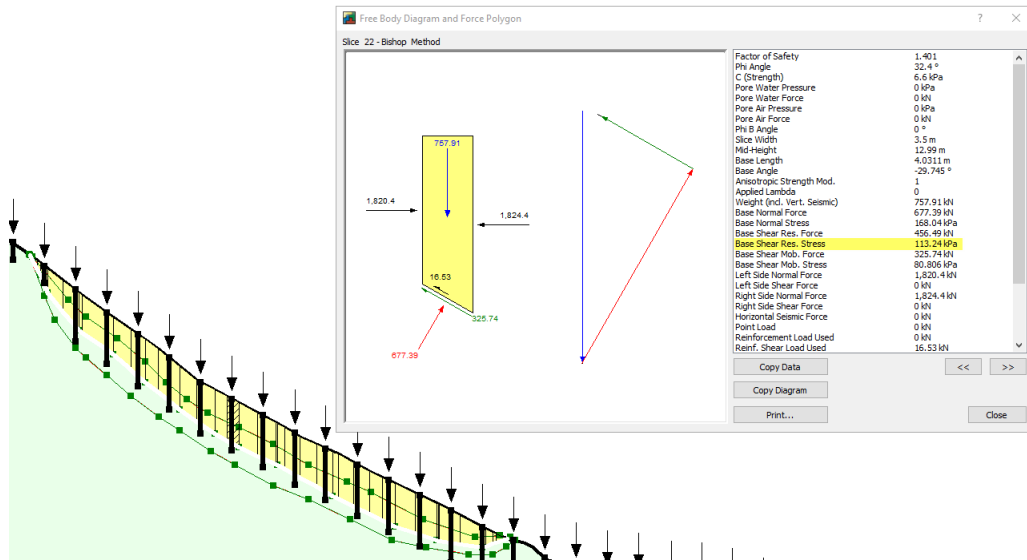
Figura 4.3. Análisis 01



Fuente: Generado en el software GeoStudio.

En la primera línea de falla definido a 7.00 m la resistencia cortante en la base es 68.82 KPa tal como se ve en la figura 4.3.

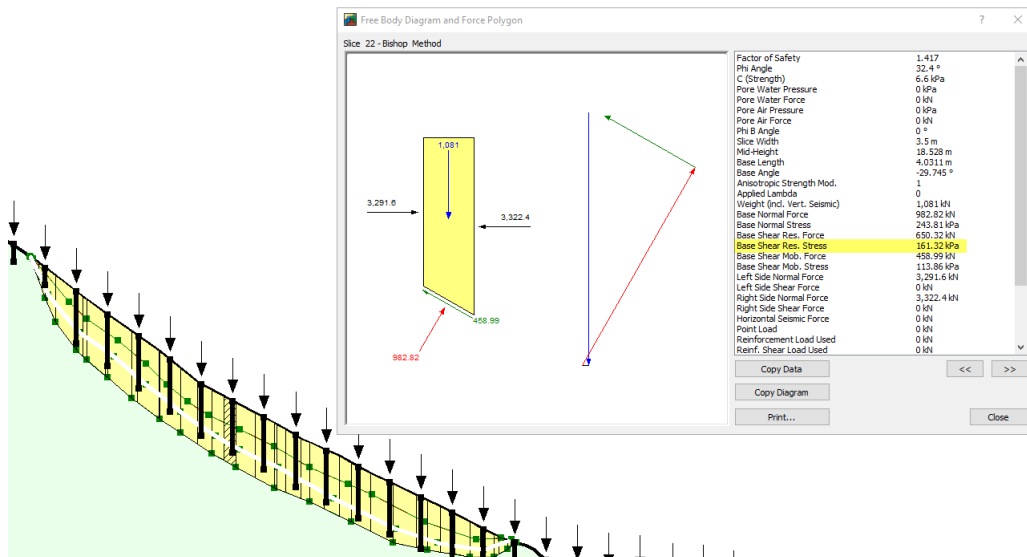
Figura 4.4. Análisis 02



Fuente: Generado en el software GeoStudio.

En la segunda línea de falla definido a 13.00 m la resistencia cortante en la base es 113.24 KPa tal como se ve en la figura 4.4.

Figura 4.5. Análisis 03



Fuente: Generado en el software GeoStudio.

En la tercera línea de falla definido a 18.00 m la resistencia cortante en la base es 161.32 KPa tal como se ve en la figura 4.5.

Al modificar el estado tensional del suelo producen deformaciones que pueden originar su ruptura, aunque los suelos con cohesión rompen a veces por tracción, como puede ser el caso de la grietas verticales que a veces se observan en la coronación del talud deslizado,

la forma de rotura más habitual en los suelos es por esfuerzo cortante.

En el largo tiempo los esfuerzos gravitacionales actúan en los materiales del interior de la ladera, la resistencia al esfuerzo cortante podrá degradarse por procesos de deformación acumulativa lenta.

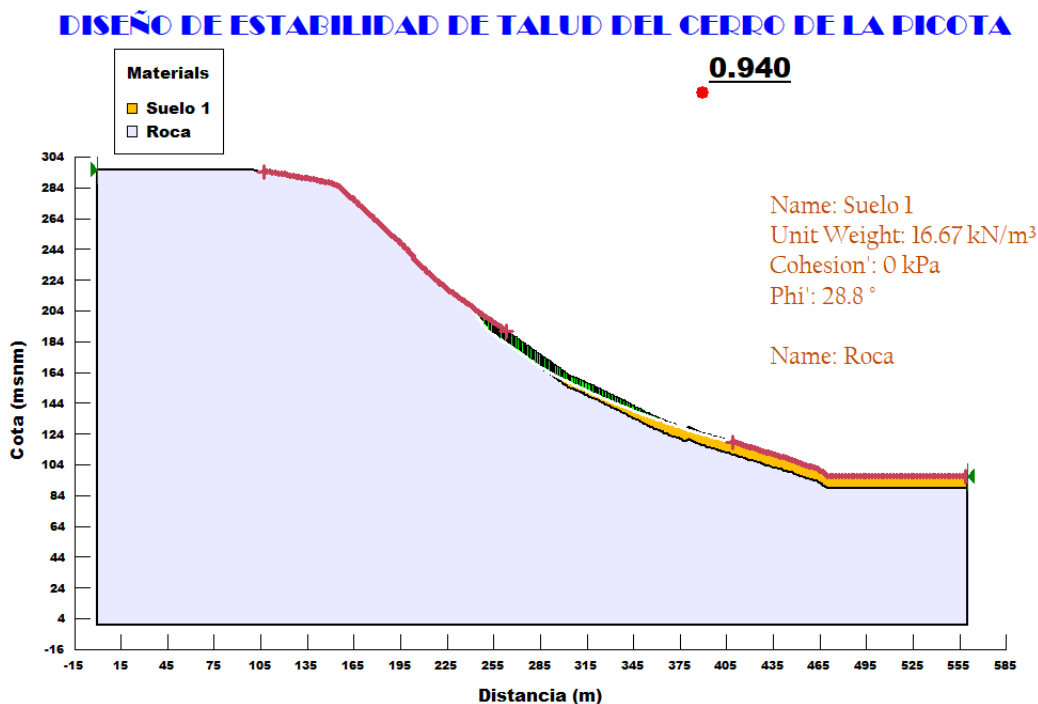
La resistencia cortante a diferentes profundidades aumenta su valor debido a que a estas profundidades es posible la falla del talud.

Para éste análisis se consideró el método de bishop.

4.3 Modelamientos con diferentes tramos de revegetación y profundidad de raíces

En la figura: 4.9 se hace la referencia de los modelamientos anteriores como perfil 01 de color morado, ahora se hace el análisis para el perfil 02 de color rojo teniendo en cuenta los mismos datos obtenidos del laboratorio con el corte directo, se hace estos dos modelamientos según recomiendan que cada 50.00 m se hace el perfil para un análisis de estabilidad del talud, como el área de estudio es una extensión superficie pequeña justamente por ese motivo se define solo estos dos modelamientos en esta zona de estudio.

Figura 4.6. Modelo del perfil 02 en su estado saturado



Fuente: Generado con GeoStudio.

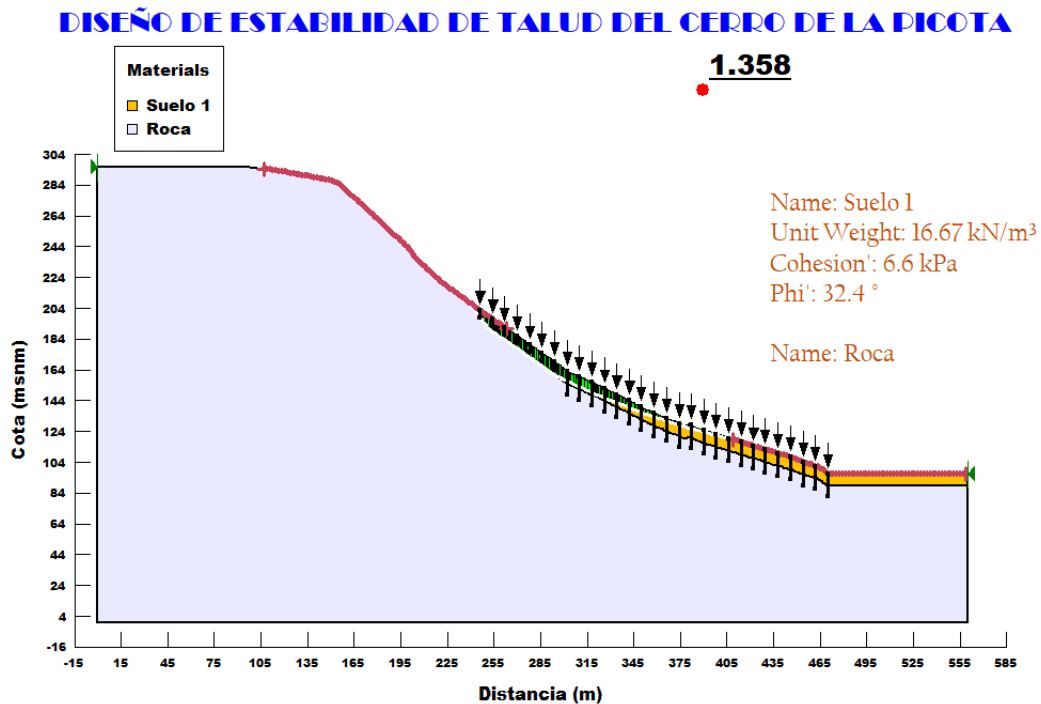
Este modelamiento se hace con el método de análisis de bishop donde el resultado del factor de seguridad en su estado saturado es **0.940** como se muestra en la figura: 4.6 lo cual corresponde al análisis del perfil 02.

En la figura: 4.7 que también corresponde al análisis del perfil 02 donde cuyo resultado del factor de seguridad es **1.358** con el aporte de la raíz.

De acuerdo a estos resultados comprobamos que los valores de los factores de seguridad

varían solo en los decimales, porque en los modelos definitivamente lo que diferencia es el perfil de cada análisis de la estabilidad del Cerro de la Picota.

Figura 4.7. Modelo del perfil 02 con aporte de la raíz



Fuente: Generado con GeoStudio.

En este resultado de la figura: 4.7 los valores de los datos tomados son $\gamma = 16,67 \text{ KN/m}^3$, $C = 6,6 \text{ KPa}$, $\phi = 32,4^\circ$, para los raíces de los árboles se tiene la fuerza de corte (Shear Force) 49.59 KN, espaciamiento cada 3.00 m, longitud de la raíz 15.00 m y para los arbus-tos la fuerza de corte 20 KN, a un espaciamiento de 2.00 m profundidad de la raíz a 5.00 m.

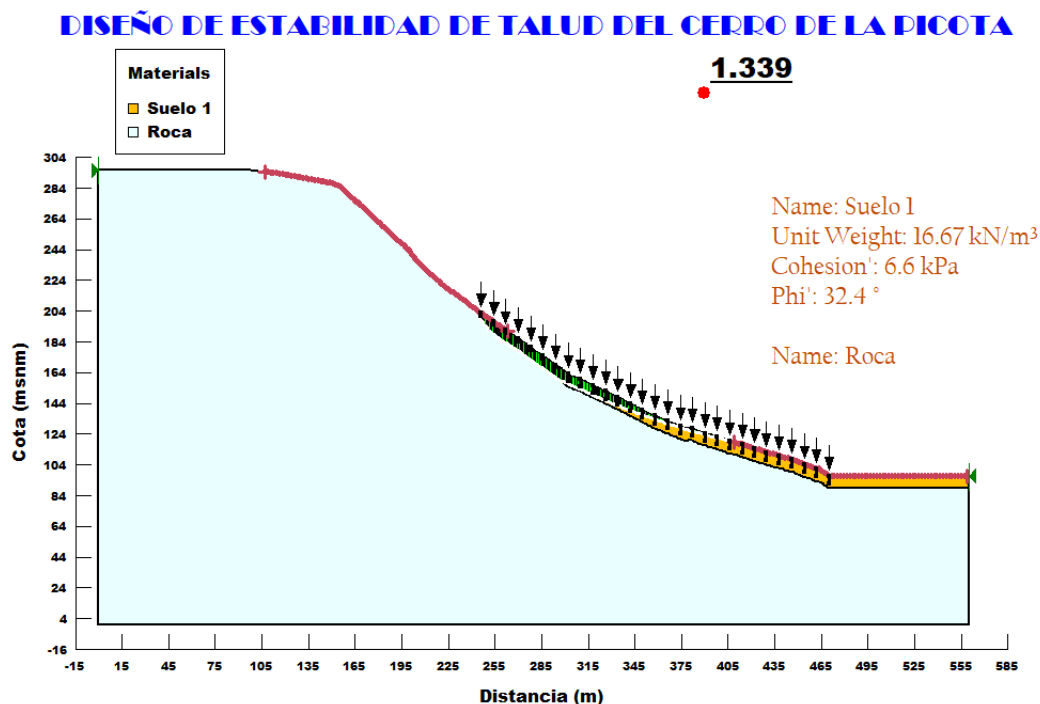
Los Resultados obtenidos con los diferentes métodos casi no hay mucha diferencia como se ve en la tabla: 4.2. Para este resultado tomamos como el promedio de los diferentes métodos de cálculo cuyo valor es **0.947** de los parámetros del factor de seguridad en su estado saturado y **1.369** con el aporte de la raíz. Estos valores difieren del uno al otro en un **30.825 %** que dicho valor significa que aumenta en ese porcentaje mencionado con el aporte de la raíz.

Tabla 4.2. Valores del factor de seguridad.

RESULTADOS DEL CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD		
DESCRIPCION	FS EN ESTADO SATURADO	FS CON APORTE DE LA RAIZ
01.- Morgenstern-Price	0.956	1.384
02.- Spencer	0.955	1.381
03.- Bishop	0.940	1.358
04.- Ordinary	0.937	1.353
PROMEDIO	0.947	1.369

Fuente: Resultados obtenidos de GeoStudio.

Figura 4.8. Modelo del perfil 02 con raíces menores



Fuente: Generado con GeoStudio.

Para ver como funciona a menores profundidades de los raíces se hace este análisis de la estabilidad del talud del Cerro de la Picota con una profundidad de raíz de los árboles a 5.00 m y de los arbustos a 2.00 m y los demás valores son los mismos ya mencionados anteriormente, con este resultado de **1.339** del factor de seguridad se deduce que baja su valor porque la profundidad de la raíz no pasa la línea de falla del modelo como muestra la figura: 4.8, estos resultados se calcularon con el método de bishop.

4.4 Erosión en el área de la zona de estudio

La erosión es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos en la superficie de la tierra. La erosión implica movimiento, transporte del material, en contraste con la alteración y disgregación de las rocas, fenómeno conocido como meteorización y es uno de los principales factores del ciclo geográfico. Entre los agentes erosivos están la circulación de agua o hielo, el viento, o los cambios térmicos.

Según se ha analizado en la zona de estudio los tipos de erosión que se determinó son:

La erosión eólica, este tipo de erosión se produce en la parte alta del talud donde carece de vegetación y porque la superficie de la tierra está expuesta sin ninguna protección de pastos naturales.

La erosión biótica, en las laderas del Cerro de la Picota éstas son las que se involucran en todos los procesos químicos que se llevan a cabo en las rocas donde intervienen los factores como el calor, frío, agua, compuestos bióticos, reacciones químicas del agua con las rocas y el cambio de temperatura que interviene en esta zona de estudio.

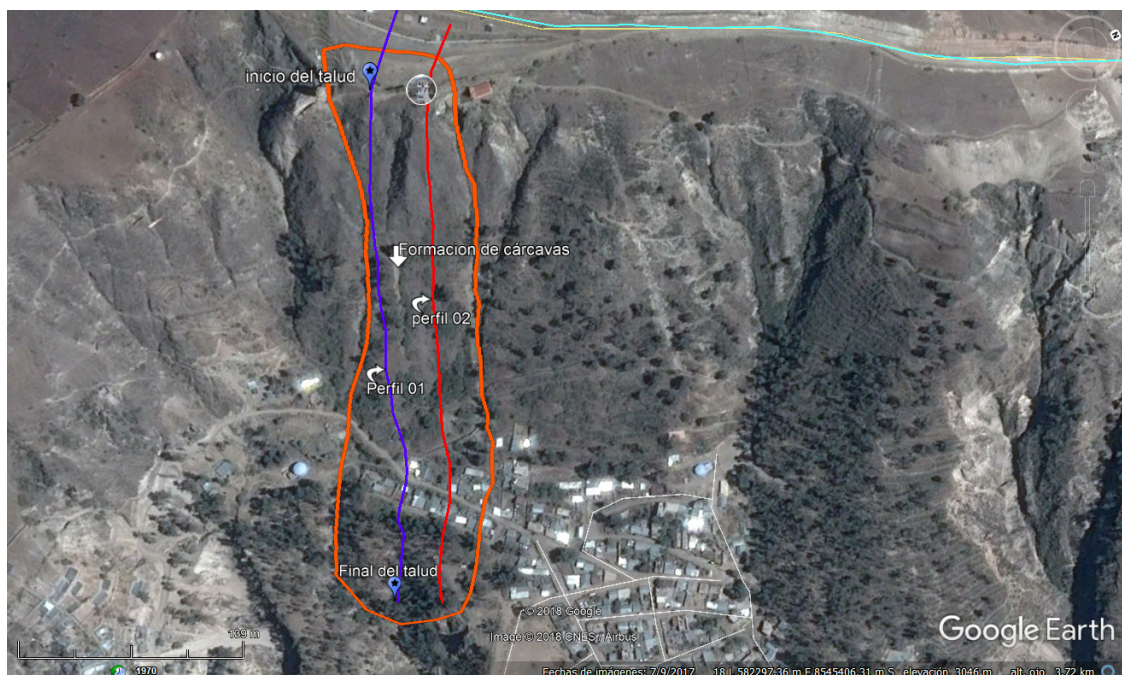
Erosión hídrica y erosión fluvial , ésta erosión es provocada por el agua en tiempos de precipitación, en la cual la tierra se ha debilitado por el arrastre del agua. En el caso de la ladera del Cerro de la Picota, éstos se van hundiendo poco a poco formando un fondo hueco a su paso.

Erosión laminar, esta erosión es superficial en la zona del estudio. Cuando se ha inspeccionado en la ladera del Cerro de la Picota se identificó que después de una lluvia pierde una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Este tipo de erosión da la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida al principio casi imperceptible pero sólo será visible cuando a pasado un tiempo y haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.

Erosión en surcos, En el Cerro de la Picota es muy perceptible este tipo de erosión debido a la formación de surcos irregulares favoreciendo la remoción de la parte superficial del suelo. Este tipo de erosión puede ser controlada. Caso contrario el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava.

Erosión en cárcavas, En la ladera del Cerro de la Picota se encuentra pérdidas de grandes masas de suelo formando surcos de gran profundidad y largura trayendo como consecuencia: Pérdidas de suelo, cambio en el régimen térmico, pérdida en la calidad del relieve, pérdidas en la capacidad de reserva de agua. Este erosión es muy notable como se ve en la figura: 4.9, donde empieza en la parte alta del inicio del talud luego termina en la parte baja formándose en una cárcava.

Figura 4.9. Delimitación de la zona de Estudio



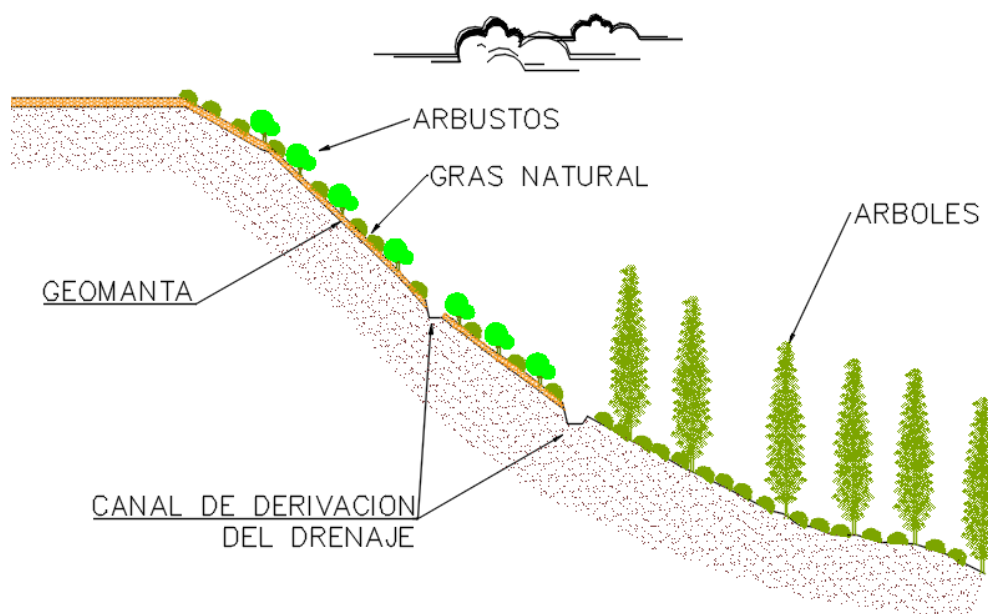
Fuente: Generado con Google Earth.

4.5 Comparación de geomallas vs propuesta de tesis

La propuesta de tesis es proteger los taludes del Cerro de la Picota con las técnicas de bioingeniería y biotecnología. La bioingeniería consiste en estabilizar el talud con los raíces de los árboles y arbustos, con respecto a la biotecnología consiste en la acción de geomallas o geomantas con intervención de la vegetación en este caso con pastizal o el gras natural oriundo de la zona de estudio como son el ichu, kinkuyo, sara sara y entre otros.

En lo que concierne a la bioingeniería se podría decir que es más económico con respecto a la biotecnología, pero finalmente se propone ambas para estabilizar el talud, dicha propuesta se considera teniendo en cuenta las características del terreno proponiéndose ubicar la plantación arbórea al pie del talud y en la parte superior la geomalla con la asociación de pastizales y arbustos, conjuntamente con las canales de derivación tal como se observa en la figura: 4.10.

Figura 4.10. Características para elaborar el proyecto



Fuente: Generado en el software Autocad

4.6 Análisis de propiedades F-Q de las laderas naturales

Según los resultados obtenidos en el laboratorio son las siguientes.

1. El resultado de pH es 8:32 lo cual nos indica que es moderadamente alcalino.
2. El C.E. es 0.525 nos indica que es muy ligeramente salino.
3. M.O. es 0.93 % es de materia orgánica muy bajo.
4. P es 5.2 indica fósforo disponible muy bajo
5. K es 179.7 indica potasio disponible medio.

6. Con los resultados de arena, limo y arcilla se determinó que el suelo pertenece a una clase textural Franco arcillo arenoso (Fr-Ar-Ao).
7. La densidad aparente de 1.28 es un valor aproximado que da una idea que corresponde a un suelo arcilloso.
8. La capacidad de campo de 28.6 % corresponde a un nivel alto según Metson y según la UNALM corresponde a un nivel muy alto (tiene mayor capacidad de absorción de cationes intercambiables).
9. Según la cifra del punto de marchitez permanente corresponde a un suelo limo arcilloso.

Como se mencionó anteriormente de acuerdo al análisis de caracterización en el laboratorio de pastos y forrajes de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, se llegó a un resultado de que la disponibilidad de nutrientes tanto para el desarrollo radicular y folicular es bajo, por lo tanto no abastece al requerimiento para el crecimiento y desarrollo óptimo de la planta en la zona de estudio del "Cerro de la Picota".

4.7 Análisis sobre medidas correctivas con la bioingeniería

Según se ha descrito anteriormente se tiene los siguientes resultados.

1. Los árboles grandes tienen raíz profunda por lo tanto ésta al interactuar entre la falla y el terreno fijo del talud evitará el deslizamiento y se ubicará al pie del talud.
2. Los arbustos que también tiene una raíz poca profundidad que evitará la falla del talud y se considera las plantaciones en la parte superior del talud por su poco peso que no afecta como carga adicional.
3. El agua proveniente de la precipitación se desviará mediante cunetas construidos con concreto para evitar las filtraciones que afectaría al talud.
4. La bioingeniería es considerada como baja en relación en el costo de beneficio.

4.8 Análisis de impacto económico y ambiental

Efectivamente según lo analizado con propuestas de diferentes formas de protección del talud se considera que la bioingeniería contempla en el factor económico una tasa baja respecto a los demás.

Respecto al análisis del impacto ambiental se hizo el cálculo del factor ambiental si es apropiado o no con la matriz de Leopold, en donde el resultado se define como apropiado para la naturaleza es sus diferentes aspectos de estudio. También podemos decir con estos resultados que es eficiente para la reducción de la contaminación ambiental que produce los vehículos que transitan por el Distrito de Ayacucho.

Es apropiado también para la fauna.

La biotecnología ambiental suele entenderse como la aplicación de las herramientas y métodos biotecnológicos a la resolución de los problemas ambientales, sin embargo para muchos biotecnólogos también debe incluir aquellas biotecnologías que utilizan la naturaleza como origen o destino de sus productos (vegetal, acuicultura, etc.).

Conclusiones

4.9 Conclusiones:

1. Los árboles pueden disminuir considerablemente la generación de deslizamientos profundos o superficiales, debido, principalmente a la acción de las raíces que actúan como sistemas de refuerzo, aumentando la resistencia al corte del suelo. La presencia de los árboles tiende a minimizar la acción erosiva del viento y de las aguas de la lluvia.
2. El control de erosión y la infiltración de aguas por la presencia de las precipitaciones máximas se evitará con las geomallas y con el cultivo de gras natural o como ichu que son plantas oriundos de la zona.
3. En la zona de estudio se realizó el análisis del cálculo del factor de seguridad con el software GeoSlope el cual determinó la importancia de las raíces que actúan como anclajes en las laderas que se encuentran en la condición inestable.

Se nota considerablemente la diferencia del efecto de las raíces con los resultados numéricos del promedio de los diferentes metodologías del factor de seguridad donde en su estado saturado tiene un resultado de **0.970** y con las presencia de la cohesión aparente de las raíces es **1.325**, este aumento del factor de seguridad asegura mejor la estabilidad del talud en la zona de estudio del Cerro de la Picota.

4. Según el análisis de físico químico de la zona de estudio se requiere el uso de enmiendas para mejorar la calidad de suelos en términos de estructura y composición, ajustando sus nutrientes, su pH ya sea para su acidez o basicidad.
5. Se identificó las áreas donde el peligro geodinámico puede ocasionar el deslizamiento con el evento de las precipitaciones máximas para proteger con la bioingeniería y biotecnología.
6. Se determinó la zona de estudio más crítico porque ante el deslizamiento o erosión afectaría unos cuantiosos daños económicos por el arrastre de huaycos por efectos de la precipitación.
7. Las medidas correctivas se tomó con la implementación de medidas de mitigación con el conocimiento de que la estabilidad va a mejorarse y así evitar los riesgos ante efectos de precipitaciones o sismos.

4.10 Recomendaciones:

Para el caso de cultivo de la vegetación en la zona del proyecto se recomienda hacer de la siguiente manera:

1. Con la vegetación se debe de dar las medidas de mitigación con el conocimiento de que la estabilidad va a mejorarse y así evitar los riesgos ante efectos de precipitaciones o sismos.
2. Sobre el control de erosión es aplicar necesariamente la biotecnología donde se considera al pino o al molle en arbustos a la chamana, retama y los pastizales oriundos de la zona como el ichu, kikuyo, sara sara entre otros.
3. Los resultados son un aporte para la ingeniería civil que adelanta trabajos generales de ingenieros como una alternativa para solucionar los problemas de estabilidad de taludes dentro de los proyectos del plan de consolidación casos particulares la rehabilitación con el monitoreo de taludes en las carreteras para evitar el deslizamiento donde genera a cada año derrumbes que ocasiona el deterioro del paso de vehículos.
4. Con el análisis físico químico se debe hacer el uso adecuado de las enmiendas, para evitar posible toxicidad e infertilidad de los suelos para el crecimiento y desarrollo de las plantas a instalar en la zona del estudio.
5. La zona de estudio se identificó con un antecedente donde hubo huayco en diciembre del 2009 que afectó el jr. San Martín por este motivo es necesario cuidar y proteger la parte alta de la prolongación de dicho calle.
6. Es la zona crítica porque ante un evento de las precipitaciones se produce el huayco provenientes de las partes altas de la prolongación de la calle San Martín, actualmente se dicipa las aguas mediante los drenajes pero necesariamente proteger con la bioingeniería y biotecnología.
7. Para las medidas de mitigación se propone desviar las aguas mediante canales de concreto a los adyacentes de las microcuencas.

Glosario

- Bioingeniería** : Disciplina que estudia las aplicaciones de la ingeniería a la medicina o a la biología.
- Biotecnología** : Se define como un área multidisciplinaria, que emplea la biología, química y procesos varios, con gran uso en agricultura, farmacia, ciencia de los alimentos, ciencias forestales y medicina.
- Biomanta** : Son materiales geosintéticos que tienen la función de servir como un sistema de control de erosión en taludes que normalmente carecen de vegetación.
- Talud** : Es la inclinación que se da a las tierras para que se sostengan las unas a las otras.
- Factor de Seguridad** : Es un parámetro numérico que identifica la autenticidad ante una falla de un material.
- Edafología** : Es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.
- Capacidad de campo** : Es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando pérdida por evapotranspiración hasta que el Potencial hídrico del suelo se estabilice (alrededor de 24 a 48 horas).
- Punto de marchitez** : Es el punto de humedad mínima en el cual una planta no puede seguir extrayendo agua del suelo y no puede recuperarse de la pérdida hídrica aunque la humedad ambiental sea saturada.

Acrónimos

UNSCH	: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
EIA	: La Evaluación del Impacto Ambiental.
DRAA	: Dirección Regional Agraria Ayacucho.
PMP	: Punto de marchitamiento permanente.
CC	: Capacidad de Campo.
CIC	: Capacidad de intercambio de cationes.
pH	: Potencial hidrógeno.
OH	: ion oxidrilo.
USDA	: United States Department of Agriculture.
FS	: Factor de seguridad.
UNALM	: Universidad Nacional Agraria La Molina.
INVIAS	: Instituto Nacional de Vias.
PP	: Polipropileno .
HDP	: High Density Polyethylene.

Símbolos

T_r	: Resistencia al tensión de la raíz.
D	: Diámetro.
$m y n$: Constantes empíricas que se deben determinar para cada especie de árbol.
a_r	: Área neta de raíces (Tomada de la relación de raíz-suelo).
F_r	: Resistencia a la tensión de la raíz (de acuerdo a la variedad vegetal).
C_r	: Cohesión aparente aportada por el suelo.
T_{rt}	: Tensión de las raíces en un tiempo t después cortado.
T_{r0}	: Tensión de las raíces con un árbol vivo
b	: Probabilidad de descomposición.
t	: Tiempo de corte.
τ_f	: Resistencia al corte del sistema suelo-raíz.
τ_f	: Resistencia al corte del sistema suelo-raíz.
c'	: Cohesión efectiva del suelo.
C_R	: Cohesión aparente aportada por las raíces.
σ	: Esfuerzo normal debido al peso del suelo.
μ	: Presión de poros.
ϕ'	: Angulo efectivo del suelo.
T_R	: Tensión total de esfuerzo de las raíces
A_{ri}	: Sección de la raíz interceptada por la superficie de falla.
A_s	: Sección del suelo potencialmente inestable.

Referencia bibliográfica

- [1] P. Sangalli Mercedes Valenzuela. *Introducción a la Bioingeniería o Ingeniería Biológica*. 2008. 1
- [2] Jaime Suárez Díaz. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos, 1998. 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 23
- [3] Styczen M.E.-Moran R.P.C. *Engineering properties of vegetation*. Morgan R.P.C. Rickson R.J. E & FN SPON, London., 1996. 9
- [4] KJ Gregory and D Ef Walling. Drainage basins forms and processes: a geomorphological approach. *Arnold, London*, 1973. 9
- [5] RM Rice and JS Krammes. Mass-wasting processes in watershed management. In *Interdisciplinary Aspects of Watershed Management*, pages 231–259. ASCE, 1970. 10
- [6] DR Greenway. Vegetation and slope stability. *Slope stability*, pages 187–230, 1987. 10, 18
- [7] Hugo M Schiechl. *Bioengineering for land reclamation and conservation*. University of Alberta Press, 1980. 10, 17
- [8] AAB Williams and JT Pidgeon. Evapo-transpiration and heaving clays in south africa. *Geotechnique*, 33(2):141–150, 1983. 11
- [9] Noraini M.T. Bayfield N.G. Barker D.H., Nordin A.R. “revegetating slopes for stability”. *International Conference on Landslides and Slope Stability*, pages 35–43, 1994. 12
- [10] Nordin A.R. “slopes vegetation management for stability”. *International Conference on Landslides and Slope Stability*, pages 287–291, 1994. 12
- [11] JP Mac Gregor and KJ MC MANUS. Management of lands subject to mass movement. In *Proceedings of 6th International Symposium on Landslides Christchurch, New Zealand*, volume vol 2, pages 1437–1444. Christchurch New Zealand, 1992. 12
- [12] DR Greenway. Vegetation and slope stability. *Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology/edited by MG Anderson and KS Richards*, 1987. 12
- [13] AR Leventhal and GR Mostyn. Slope stabilization techniques and their application. *Soil slope instability and stabilization. cap*, pages 183–231, 1987. 13

- [14] Alex Watson, COLIN O'Loughlin, et al. Structural root morphology and biomass of three age-classes of pinus radiata. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 20(1):97–110, 1990. 13
- [15] TT Kozlowski. *Growth and development of trees: Vol. II: cambial growth, root growth, and reproductive growth*. Academic Press, 1971. 14
- [16] Donald H Gray. Reinforcement and stabilization of soil by vegetation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 100(Proc Paper 10597 Tech Notes), 1974. 14
- [17] Enoki M.-Hassandi A. Yagi N.-Yatabe R. “the effects of root networks on slope stability”. *International Conference on Landslides and Slope Stability*, pages 387–392, 1994. 15
- [18] Donald H Gray and Harukazu Ohashi. Mechanics of fiber reinforcement in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3):335–353, 1983. 15
- [19] EP Burroughs and RR Thomas. Root strength of douglas fir as a factor in slope stability. *USDA Forest Service review draft INT*, pages 1600–12, 1976. 15
- [20] Donald H Gray. Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilizing slopes. In *Proc. Symp. Soil Reinforcing and Stabilising Techniques, Sydney, Australia*, pages 253–306, 1978. 15, 20
- [21] VI Turmanina. On the strength of tree roots. *Bull. Moscow Soc. Naturalists, Biol. Sec*, 70:36–45, 1965. 15
- [22] M Suyama. Assessment of biotechnical slope stability effect for urban forest in japan. In *Proceedings of 6th international symposium on landslides. A Balkema, Christchurch*, pages 831–836, 1992. 15
- [23] BB Docker and TCT Hubble. Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four australian tree species. *Geomorphology*, 100(3-4):401–418, 2008. 16
- [24] Roy C Sidle, Andrew J Pearce, and Colin L O'Loughlin. *Hillslope stability and land use*. American Geophysical Union, 1985. 16
- [25] Y Tsukamoto. Kusakabe, 0.(1984). *Vegetative influences on debris slide*. 17
- [26] Gonzalo Castillo-Campos. *Vegetación y flora del municipio de Xalapa, Veracruz*. Instituto de Ecología, AC, 1991. 18
- [27] David H Bache and Iain A MacAskill. *Vegetation in civil and landscape engineering*. David Bache, 1984. 20
- [28] CL O'loughlin and ALEX Watson. Root-wood strength deterioration in radiata pine after clearfelling. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 9(3):284–293, 1979. 20
- [29] O'loughlin C. & Ziemer. *The Importance of Root Strength and Deterioration Rates Upon Edaphic Stability in Steepland Forests*. 1999. 21
- [30] C Sanhueza and Gabriel Villavicencio. Influencia de la cohesión aparente generada por raíces sobre la estabilidad de un talud natural en las dunas de reñaca. *Revista de la Construcción*, 11(1):16–31, 2012. 21

- [31] Colin O'loughlin and Robert Ruhl Ziemer. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in stepland forests. In *Proceedings of IUFRO Workshop P. 1.07-00 Ecology of Subalpine Ecosystems as a Key to Management. 2-3 August 1982, Corvallis, Oregon. Oregon State University, Corvallis, Oregon. p. 70-78.*, 1982. 21, 22
- [32] George Berman. Landslides on the panama canal. In *Landslide News (Japan landslide Society)*, number 5, pages 10–14. 1991. 23
- [33] R. Rivera. Reforestation program - gaillard cut. In *Panamá Canal Commission Report*, number 1,12, pages 10–14. 1991. 23
- [34] Geosotf PAVCO. *Manual de diseño con Geosíntéticos*. 2009. 23, 24, 25, 26
- [35] Geosíntéticos PAVCO. *Bioteología-Control de erosión y sedimentos*. 2017. 24
- [36] www.geosai.com. Control de erosión. 25
- [37] www.geoaceperu.com/geomallas.html. Geomallas. 26, 27, 28, 29
- [38] L Rucks, F García, Abraham Kaplán, J Ponce de León, and M Hill. Propiedades físicas del suelo. *Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay*, 2004. 30
- [39] Harry O Buckman, Nyle C Brady, R Salord Barcelo, et al. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. 1977. 30, 31
- [40] Leandro Pellini. Biorremediación estimulada por efluentes, 2006. 31
- [41] Henry Portela Guarín. *Edafología 1*. 2011. 32, 33, 34, 35
- [42] Lourdes Flores Delgadillo. *Manual de Procedimientos Analíticos*. 2010. 32
- [43] Instituto Nacional de Defensa Civil. *Plan de prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación ciudad de Ayacucho*. 2004. 37, 38, 39, 40, 41
- [44] Gatikako Udala. *Estudio de evaluación conjunta de impacto ambiental*. 2009. 43
- [45] Servicio Geológico Mexicano. *Geología ambiental*. 2017. 45
- [46] Alberto Moreno Vega Margarita Mohedas Díaz. *Trabajos de infraestructuras forestales*. 2015. 45
- [47] Municipalidad Provincial de Huamanga. *Creación sistema de drenaje pluvial de la margen derecha del río alameda-qda. chaquihuaycco (pte.apurimac margen derecho-vía evitamiento)-av. Ramón Castilla (8va y 9na cda)-av. Cuzco (1ra a 4ta cda)-prol. Pokra-jr. Arica y pje.unión, Distrito de Ayacucho, Andrés A. Cáceres d. y San Juan Bautista, Provincia de Huamanga- Ayacucho*. 2016. 46, 47, 48, 49, 50
- [48] Ambientalista. Impacto AMBIENTAL Positivo y Negativo| Contaminación Ambiental, March 2017. 50
- [49] GEO-SLOPE International. Stability modeling with geostudio. *GEO-SLOPE International Ltd*, 250, 2017. 51

- [50] Germán López Pineda. *Introducción al uso del programa SLOPE/W versión 2012-Student*. 53, 54, 56, 57, 58, 59
- [51] *Manual de ingeniería de taludes*. IGME, 2006. 55

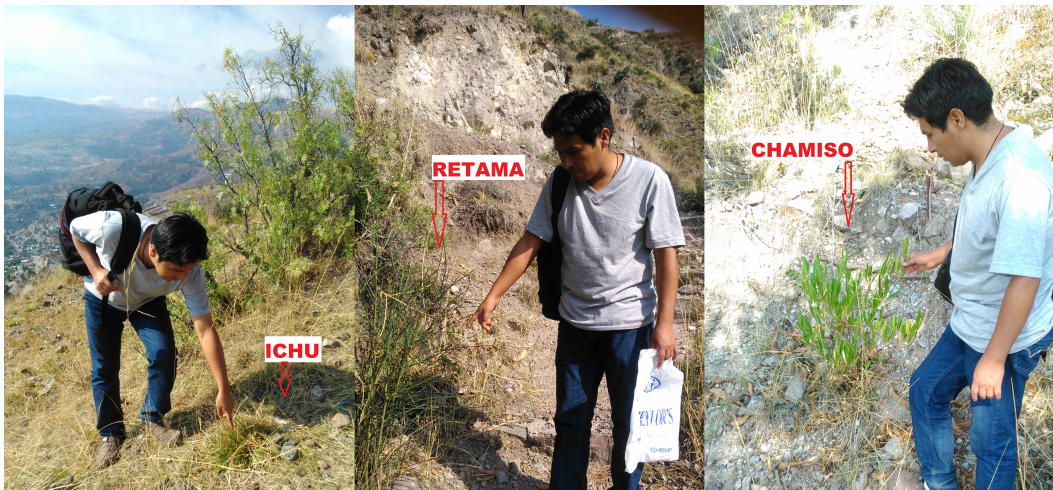
Anexo A - Fotos

FOTO N.º 01:



Talud del cerro picota.

FOTO N.º 02:



Arbustos y gras en la zona de estudio.

Anexo B - Resultados del análisis en laboratorio

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM - D3080

TESIS : "TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA HUAMANGA - AYACUCHO"

SOLICITANTE: BACHILLER RENAN DIAZ MEZA

ESTRUCTURA CIMENTACIONES

EXPLORACION CALICATA C-1/ M-3

PROF: 2.00 m

FECHA : 15/04/2018

Datos del Especimen	ESPECIMEN Nº 1		ESPECIMEN Nº 2		ESPECIMEN Nº 3	
K (Anillo de Carga)	1	Kg.	2	Kg.	4	Kg.
Caraga Normal	14	Kg.	30	Kg.	62	Kg.
Esfuerzo Normal	0.471	Kg/cm2,	1.010	Kg/cm2,	2.071	Kg/cm2,
altura (cm)	2.00		2.00		2.00	
diametro (cm)	6.15		6.15		6.15	
Area (cm2)	29.71		29.71		29.71	
Volumen (cm3)	59.41		59.41		59.41	
Peso Húmedo gr.	109.91		109.91		109.91	
Densidad Natural (gr/cm3)	1.850		1.850		1.850	

ESPECIMEN Nº 1			ESPECIMEN Nº 2			ESPECIMEN Nº 3		
Deformacion Horizontal (m.m.)	Lectura A. de Carga N	Esfuerzo Corte (kg/cm2)	Deformacion Horizontal (m.m.)	Lectura A. de Carga N	Esfuerzo Corte (kg/cm2)	Deformacion Horizontal (m.m.)	Lectura A. de Carga N	Esfuerzo Corte (kg/cm2)
0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
0.03	7.00	0.024	0.03	19.00	0.065	0.03	42.00	0.144
0.05	11.00	0.038	0.05	36.00	0.124	0.05	74.00	0.254
0.10	18.00	0.062	0.10	62.00	0.213	0.10	88.00	0.302
0.20	25.00	0.086	0.20	79.00	0.271	0.20	112.00	0.384
0.30	32.00	0.110	0.30	88.00	0.302	0.30	128.00	0.439
0.40	36.00	0.124	0.40	96.00	0.329	0.40	136.00	0.467
0.50	40.00	0.137	0.50	102.00	0.350	0.50	151.00	0.518
0.60	43.00	0.148	0.60	107.00	0.367	0.60	168.00	0.576
0.70	45.00	0.154	0.70	118.00	0.405	0.70	178.00	0.611
0.80	47.00	0.161	0.80	121.00	0.415	0.80	182.00	0.625
0.90	50.00	0.172	0.90	124.00	0.426	0.90	188.00	0.645
1.00	51.00	0.175	1.00	128.00	0.439	1.00	196.00	0.673
1.25	55.00	0.189	1.25	134.00	0.460	1.25	208.00	0.714
1.50	58.00	0.199	1.50	141.00	0.484	1.50	223.00	0.765
1.75	60.00	0.206	1.75	148.00	0.508	1.75	233.00	0.800
2.00	62.00	0.213	2.00	156.00	0.535	2.00	242.00	0.830
2.25	63.00	0.216	2.25	162.00	0.556	2.25	251.00	0.861
2.50	65.00	0.223	2.50	167.00	0.573	2.50	260.00	0.892
2.75	66.00	0.226	2.75	171.00	0.587	2.75	263.00	0.902
3.00	68.00	0.233	3.00	173.00	0.594	3.00	266.00	0.913
3.50	70.00	0.240	3.50	175.00	0.601	3.50	273.00	0.937
4.00	72.00	0.247	4.00	176.00	0.604	4.00	281.00	0.964
4.50	72.00	0.247	4.50	177.00	0.607	4.50	289.00	0.992
5.00	73.00	0.251	5.00	178.00	0.611	5.00	296.00	1.016
5.50	74.00	0.254	5.50	180.00	0.618	5.50	294.00	1.009
6.00	72.00	0.247	6.00	184.00	0.631	6.00	292.00	1.002

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

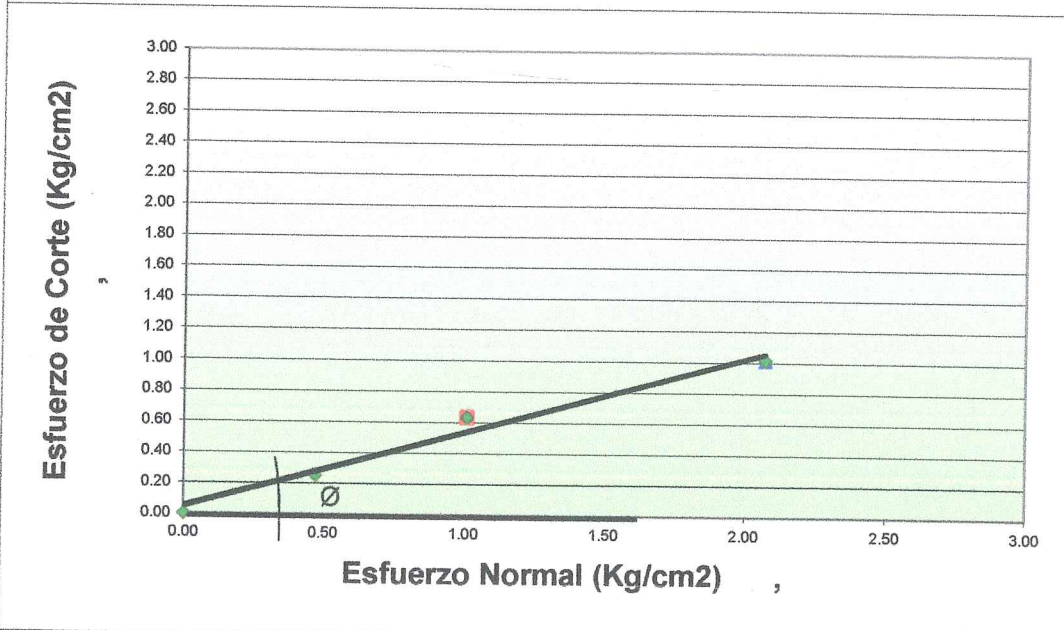
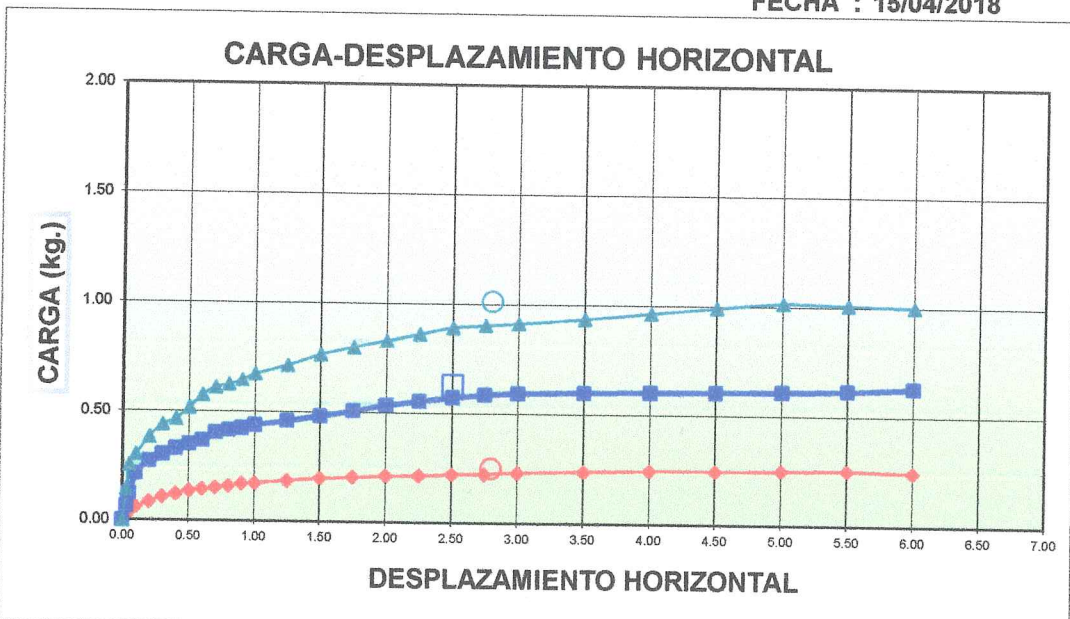
ASTM - D3080

TESIS : "TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA HUAMANGA - AYACUCHO"

SOLICITANTE: BACHILLER RENAN DIAZ MEZA
 ESTRUCTURA CIMENTACIONES
 EXPLORACION CALICATA C-1/ M-3

PROF: 2.00 m

FECHA : 15/04/2018



Angulo Fricción Interna	∅ :	28.8	°
Cohesión	Ĉ :	0.00	kg/cm2

GEOTECNIA & INGENIERIA S.A.C.
 Ing. Angel H. Vilchez Per
 (Signature)

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES

TESIS :

"TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA HUAMANGA - AYACUCHO"

SOLICITANTE:
ESTRUCTURA
EXPLORACION

BACHILLER RENAN DIAZ MEZA
CIMENTACIONES
CALICATA C-1/ M-3

PROF: 2.00 m

Fecha : 15/04/2018

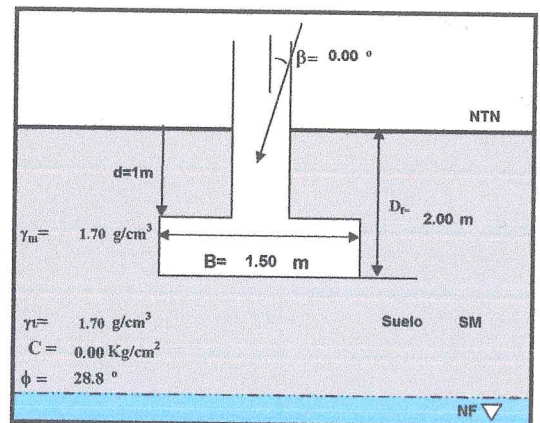
POR RESISTENCIA

FORMA DE LA CIMENTACIÓN
FALLA POR CORTE
CÁLCULO POR EL MÉTODO DE

rectangular
Local
Meyerhof

Presencia de nivel freático: **NO**

Cohesión	C	=	0.00	Kg/cm ²
Cohesión por falla local	C _f	=	0.00	Kg/cm ²
Ángulo de fricción	φ	=	28.8	°
Ángulo de fricción por falla local	φ _f	=	20.14	°
Ángulo de inclinación de la carga	β	=	0.00	°
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ _m	=	1.70	g/cm ³
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	γ _u	=	1.70	g/cm ³
Ancho de la cimentación	B	=	1.50	m
Largo de la cimentación	L	=	1.70	m
Profundidad de la cimentación	D _f	=	2.00	m
Factor de seguridad	FS	=	3.00	



ECUACIÓN PARA LA CARGA ÚLTIMA (qu) = $I_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + 1 q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5 \gamma B N_\gamma F_{ys} F_{yd}$

Capacidad última de carga	q _{ult}	=	3.87	Kg/cm ²
Capacidad admisible de carga	q _{adm}	=	1.292	Kg/cm ²

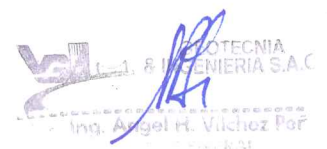
POR ASENTAMIENTO

$$S_i = qB \left(\frac{1 - \mu^2}{E_s} \right) I_f$$

Capacidad admisible de carga	q _{adm}	=	1.292	Kg/cm ²
Relación de Poisson	μ	=	0.35	
Módulo de Elasticidad	E _s	=	300	Kg/cm ²
Asentamiento permisible	S _{i(max)}	=	2.50	cm
Ancho de la cimentación	B	=	1.50	m
Largo de la cimentación	L	=	1.70	m
Factor de profundidad	I _f	=	1.193	m/m

Asentamiento para la cimentación	Flexible	=	0.676	cm	OK!
----------------------------------	----------	---	-------	----	-----

Presión de carga asumida por asentamiento	q _{adm}	=	1.292	Kg/cm ²	
Asentamiento para la cimentación	Flexible	=	0.676	cm	OK!


Ing. Angel R. Vilchez Par



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 966942996

Ayacucho – Perú

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

Región : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Ayacucho
Comunidad : Picota
Proyecto : “Irrigaciones”
Solicitante : Sr. Renán Díaz Meza

ANALISIS FISICO DE SUELOS

Clave Muestra	Análisis Granulométrico			Clase Textural	Densidad Aparente (g/cc)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchites (%)
	%Arena	%Limo	%Arcilla				
01	49.6	22.6	27.8	Fr-Ar-Ao	1.28	28.6	15.5

Ayacucho, 02 de Julio del 2017.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE


Juan B. Girón Molina
C.I.P. 77120

(*) Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso;
FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 - Telf: 315936 RPM # 966942996

Ayacucho - Perú

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Ayacucho
 Comunidad : Picota
 Proyecto : “Irrigaciones”
 Solicitante : Sr. Renán Díaz Meza

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra Calicata	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O) 1:2.5	C. E. (ds/m.) 1:1	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)			Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)					C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺	
01	49.6	22.6	27.8	Fr-Ar-Ao	8.32	0.525	2.5	0.93	0.04	5.2	179.7	9.4	1.28	0.58	--	0.0	0.0	12.2

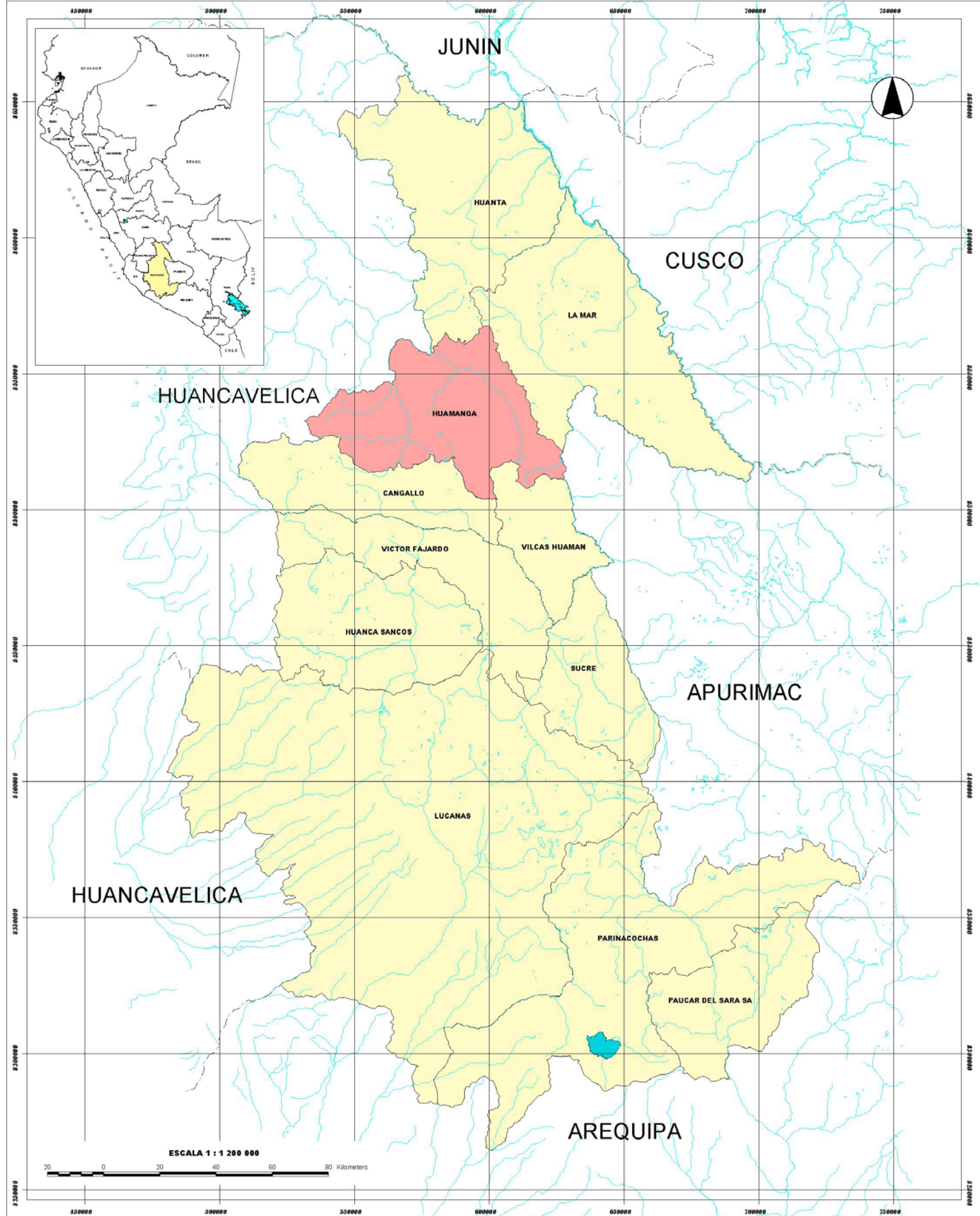
Ayacucho, 02 de Julio del 2017.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

 Juan B. Girón Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso;
 FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo C - Planos



PROVINCIA	POBLACION TOTAL	ALTITUD (M.S.N.M.)	SUPERFICIE Km2	DENSIDAD Hab / Km2
TOTAL	550751		43814.8	12.57
HUAMANGA	195696	2746	2981.37	65.64
CANGALLO	36335	2577	1916.17	18.96
HUANCA SANCOS	11049	3408	2862.33	3.86
HUANTA	70030	2628	3878.91	18.05
LA MAR	76369	2061	4392.15	17.39
LUCANAS	60082	3214	14494.64	4.15
PARINACOCHAS	24726	3175	5968.32	4.14
PAUCAR DEL SARA SARA	11081	2524	2096.92	5.28
SUCRE	13707	3502	1785.64	7.68
VICTOR FAJARDO	26497	3081	2260.19	12.61
VILCAS HUAMAN	23179	3470	1178.16	19.67



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECTOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA-HUAMANGA-AYACUCHO

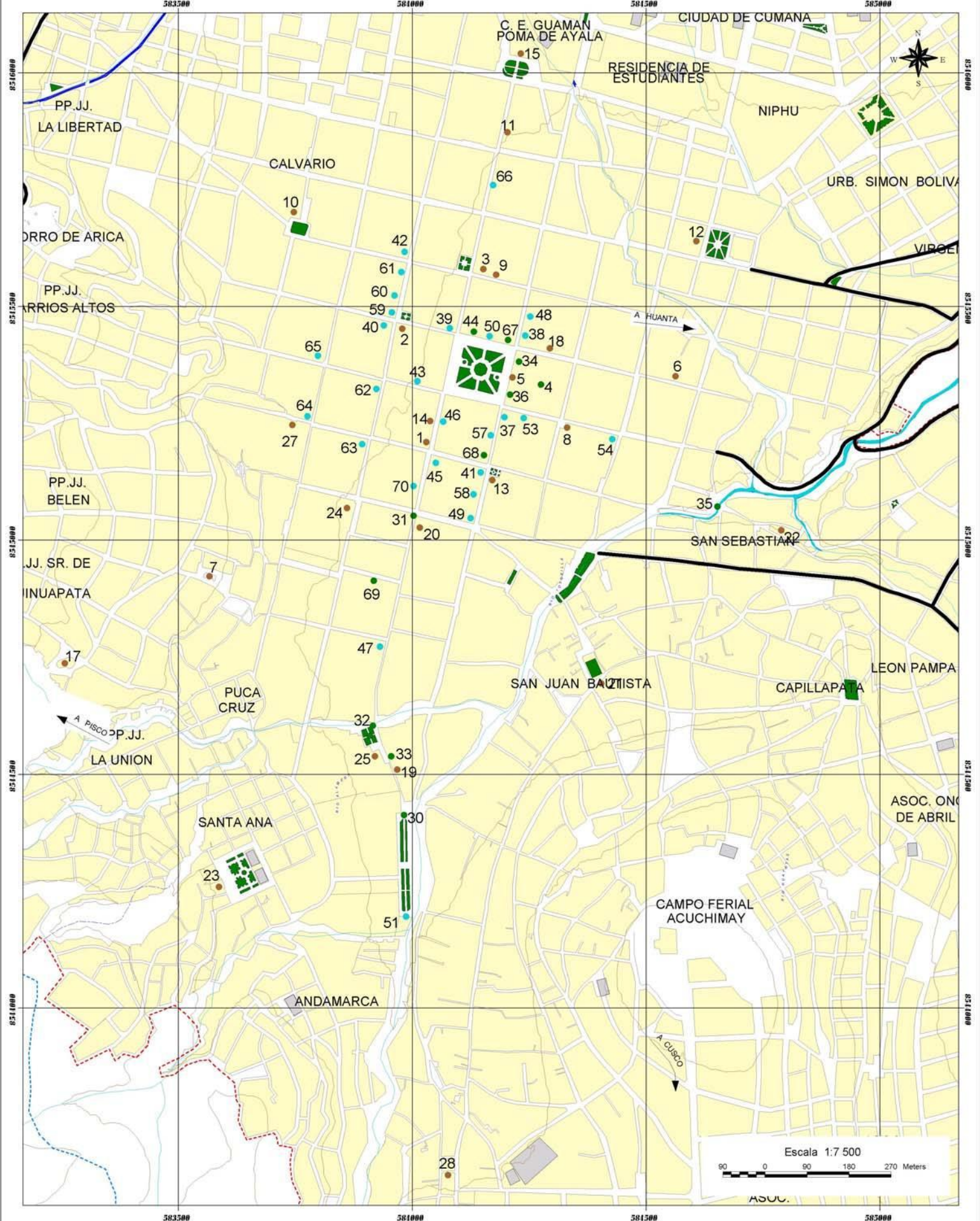
PLANO DE UBICACION

LAMINA:
01

FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL-IGN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA-INEI

ESCALA: 1/1 200 000

UNSCH



**PATRIMONIOS MONUMENTALES
CIUDAD DE AYACUCHO**

- IGLESIAS
- CASONAS
- OTROS

LEYENDA

- PARQUE
- PLANTA TRATAM. AGUA POTABLE
- PLANTA TRATAM. AGUA SERVIDA
- CAMPO DEPORTIVO
- RIO
- QUEBRADAS
- CURVA DE NIVEL (50 m)
- CANAL
- CARRETERA
- LIMITE CASCO URBANO



**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**PROYECTO: TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA
EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA-HUAMANGA-
AYACUCHO**

PLANO DE PATRIMONIOS MONUMENTALES

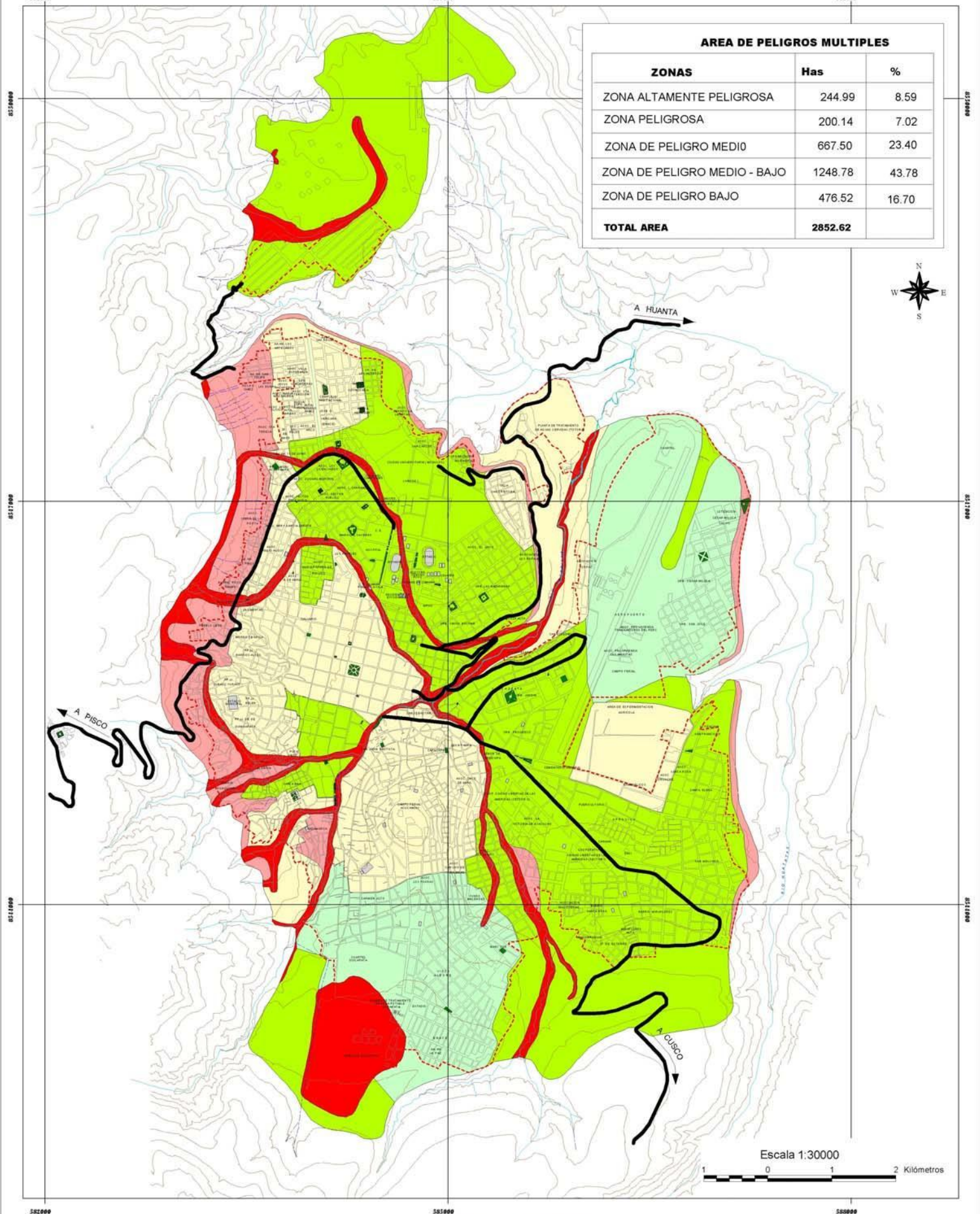
FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL-IGN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA-INEI

ESCALA: 1/1 200 000

LAMINA:

02

UNSCH



AREA DE PELIGROS MULTIPLES		
ZONAS	Has	%
ZONA ALTAMENTE PELIGROSA	244.99	8.59
ZONA PELIGROSA	200.14	7.02
ZONA DE PELIGRO MEDIO	667.50	23.40
ZONA DE PELIGRO MEDIO - BAJO	1248.78	43.78
ZONA DE PELIGRO BAJO	476.52	16.70
TOTAL AREA	2852.62	

ZONA ALTAMENTE PELIGROSA
AMPLIFICACION SISMICA MUY ALTA
FUJAS RESISTENTES INTERIORES DE AGUA Y SUELOS
INDICACIONES REPERCUSSIONES PRECIPITACIONES EN PUNTO CRITICO
BROCHOS INTERIORES Y CARGAS PROFUNDAS POR ACCION DEL AGUA
SERVICIOS Y ASESORAMIENTO DEL SUELO POR ACCION SISMICA
CAPACIDAD PORTANTE BAJA (1/3 A 2/3 RQUE)

ZONA PELIGROSA
AMPLIFICACION SISMICA ALTA
FUJAS RESISTENTES INTERIORES DE AGUA Y SUELOS
INDICACIONES REPERCUSSIONES EN PUNTO CRITICO
BROCHOS INTERIORES POR ACCION DEL AGUA
SERVICIOS Y ASESORAMIENTO DEL SUELO POR ACCION SISMICA
CAPACIDAD PORTANTE BAJA (1/3 A 2/3 RQUE)

ZONA DE PELIGRO MEDIO
AMPLIFICACION SISMICA MEDIA
FUJAS RESISTENTES INTERIORES DE AGUA Y SUELOS
INDICACIONES REPERCUSSIONES EN PUNTO CRITICO
CAPACIDAD PORTANTE MEDIA A BAJA (1/3 A 2/3 RQUE)

ZONA DE PELIGRO MEDIO - BAJO
AMPLIFICACION SISMICA MEDIA A BAJA
FUJAS RESISTENTES LEVEMENTE A MODERADO DE AGUA Y SUELOS
INDICACIONES REPERCUSSIONES LEVEMENTE PRECIPITACIONES
CAPACIDAD PORTANTE MEDIA (1/3 A 2/3 RQUE)

ZONA DE PELIGRO BAJO
AMPLIFICACION SISMICA BAJA
FUJAS RESISTENTES LEVEMENTE A MODERADO DE AGUA Y SUELOS
INDICACIONES REPERCUSSIONES LEVEMENTE PRECIPITACIONES
CAPACIDAD PORTANTE ALTA (1/3 A 2/3 RQUE)

LEYENDA

- PARQUE
- PLANTA TRATAM. AGUA POTABLE
- PLANTA TRATAM. AGUA SERVIDA
- CAMPO DEPORTIVO
- RIO
- QUEBRADAS
- CURVA DE NIVEL (50 m)
- CANAL
- CARRETERA
- LIMITE CASCO URBANO

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECTOLOGIA
EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA-HUAMANGA-AYACUCHO

PLANO DE PELIGROS MULTIPLES

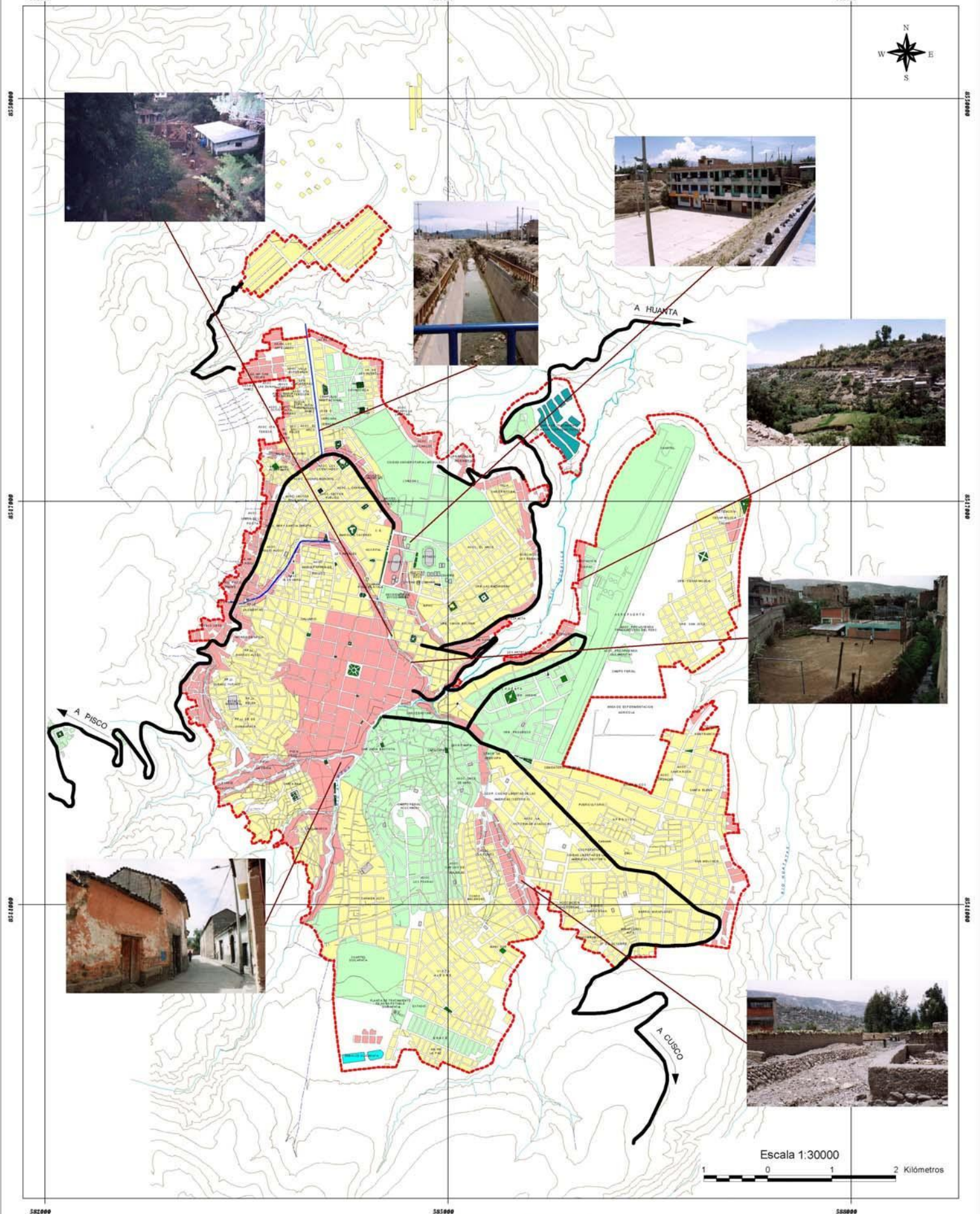
FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL-IGN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA-INEI

ESCALA: 1/1 200 000

LAMINA:

03

UNSCH



Escala 1:30000
 1 0 1 2 Kilómetros

- VULNERABILIDAD CIUDAD DE AYACUCHO**
- VULNERABILIDAD ALTA
 - VULNERABILIDAD MEDIA
 - VULNERABILIDAD BAJA
 - LIMITE URBANO

- LEYENDA**
- PARQUE
 - PLANTA TRATAM. AGUA POTABLE
 - PLANTA TRATAM. AGUA SERVIDA
 - CAMPO DEPORTIVO
 - RIO
 - QUEBRADAS
 - CURVA DE NIVEL (50 m)
 - CANAL
 - CARRETERA
 - LIMITE CASCO URBANO



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA-HUAMANGA-AYACUCHO

LAMINA:

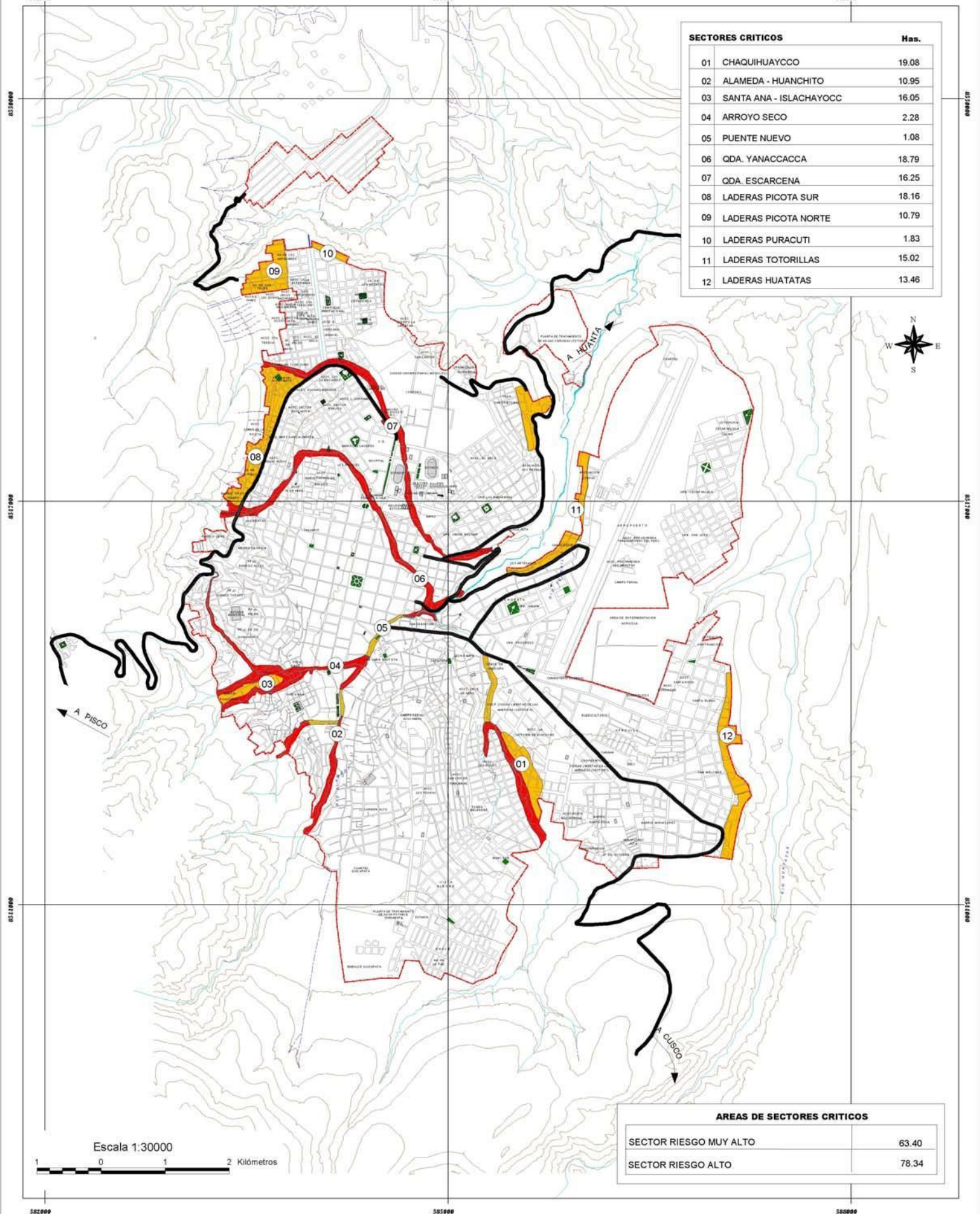
04

PLANO DE VULNERABILIDAD

FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL-IGN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA-INEI

ESCALA: 1/1 200 000

UNSCH



SECTORES CRITICOS		Has.
01	CHAQUIHUAYCCO	19.08
02	ALAMEDA - HUANCHITO	10.95
03	SANTA ANA - ISLACHAYOCC	16.05
04	ARROYO SECO	2.28
05	PUNTE NUEVO	1.08
06	QDA. YANACCACCA	18.79
07	QDA. ESCARCENA	16.25
08	LADERAS PICOTA SUR	18.16
09	LADERAS PICOTA NORTE	10.79
10	LADERAS PURACUTI	1.83
11	LADERAS TOTORILLAS	15.02
12	LADERAS HUATATAS	13.46

AREAS DE SECTORES CRITICOS	
SECTOR RIESGO MUY ALTO	63.40
SECTOR RIESGO ALTO	78.34

Escala 1:30000
 0 1 2 Kilómetros

SECTORES CRITICOS
 CIUDAD DE AYACUCHO

■ SECTOR DE RIESGO MUY ALTO
■ SECTOR DE RIESGO ALTO

LEYENDA

- PARQUE
- PLANTA TRATAM. AGUA POTABLE
- PLANTA TRATAM. AGUA SERVIDA
- CAMPO DEPORTIVO
- RIO
- QUEBRADAS
- CURVA DE NIVEL (50 m)
- CANAL
- CARRETERA
- LIMITE CASCO URBANO



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: TECNICAS DE BIOINGENIERIA Y BIOTECTOLOGIA
EN TALUDES DEL CERRO DE LA PICOTA-HUAMANGA-AYACUCHO

PLANO DE SECTORES CRITICOS

FUENTE: INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL-IGN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA-INEI

ESCALA: 1/1 200 000

LAMINA:
05

UNSCH