

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE REVEGETACIÓN
CON RYE GRASS, ECOTIPO CAJAMARQUINO
PARA EL CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA DE
TALUDES EN UNA MINA SUPERFICIAL,
CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Gilmer Chilon Chuquimango

Asesor:

M. Sc. Ing. Gladys Sandi Licapa Redolfo

<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Danyer Stewart Girón Palomino	94271
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Daniel Alva Huaman	128052
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Oscar Arturo Vasquez Mendoza	207418
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD



DEDICATORIA

La presente tesis se lo dedico principalmente a Dios, quien me está guiando por un buen camino, y por darme las fuerzas y bendiciones para seguir adelante hasta cumplir los objetivos que me he propuesto.

A mis padres por su incondicional apoyo, consejos y comprensión sobre todo en los momentos más difíciles. Gracias a sus ejemplos hoy estoy próximo a concluir una de las metas trazadas.

A los docentes en especial a la Ing. Gladys Sandi Licapa Redolfo y al Ing. Gustavo Alberto Steven Jamanca Lino, quienes con su experiencia han sabido orientarme por el sendero de superación.

Gilmer Chilon

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la vida y por haberme brindado las fuerzas y las bendiciones necesarias para poder llevar a cabo una segunda carrera.

Agradecer inmensamente a mis padres José Espíritu y María Angelica; mis hermanos Abel, Edwin y Etelvina, que con sus consejos supieron motivarme para seguir adelante.

De igual forma agradecer a los docentes de la Universidad Privada Del Norte, que han sabido inculcarme adicional al conocimiento, buenos hábitos y valores, ya que sin su apoyo no habría sido posible el desarrollo de este proyecto de investigación.

Gilmer Chilon

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. Hipótesis	23
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	24
CAPÍTULO III: RESULTADOS	31
3.1. Condiciones de estabilidad del talud sin revegetación	31
3.2. Aplicación de la técnica de revegetación	34
3.3. Influencia de la técnica de revegetación en estabilidad del talud	38

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	48
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de seguridad de estabilidad del talud	30
Tabla 2: Propiedades físicas del suelo del talúd sin revegetación - temporada seca.....	33
Tabla 3: Propiedades físicas del suelo del talúd sin revegetación - temporada lluvia	33
Tabla 4: La cantidad de insumos a utilizar por Hectárea	34
Tabla 5: Productos químicos a utilizar por Hectárea.....	35
Tabla 6: Semilla de Pastos Mejorados.....	35
Tabla 7: Cuadro de control de actividades	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zona de falla de un talud	19
Figura 2: Anclaje de raíces	21
Figura 3: Vista en planta del área muestral	25
Figura 4: Estructura del procedimiento para la recolección de información	26
Figura 5: Medición de condiciones de estabilidad Slide	28
Figura 6: Análisis de fallas	28
Figura 7: Análisis estático del talud sin revegetación – temporada seca	31
Figura 8: Análisis estático del talud sin revegetación – temporada de lluvia	31
Figura 9: Análisis pseudoestático del talud sin revegetación – temporada seca	32
Figura 10: Análisis pseudoestático del talud sin revegetación – temporada de lluvia	32
Figura 11: Análisis estático del talud con revegetación – temporada seca	37
Figura 12: Análisis estático del talud con revegetación – temporada de lluvia	37
Figura 13: Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada seca	39
Figura 14: Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada de lluvia	40
Figura 15: Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad estáticas	41
Figura 16: Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad pseudoestáticas	41
Figura 17: Gráfico comparativo del % de humedad	42

Figura 18: Gráfico comparativo de erosión diaria (mm) 42

RESUMEN

La presente tesis tuvo como propósito evaluar la técnica de revegetación con Rye Grass Ecotipo cajamarquino para el control de la erosión hídrica de taludes en una mina superficial ubicada en Cajamarca en el año 2022. En la empresa minera en estudio se vienen presentando problemas constantes debido a deslizamientos junto con erosiones en los taludes, los cuales sufren de cambios morfológicos de los suelos continuamente. Se determinó las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass Ecotipo cajamarquino aumenta en 0.13 (11%), y en temporada seca en 0.22 (19.5%), mejorando la estabilidad de forma significativa. De igual forma las condiciones de estabilidad pseudoestáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass Ecotipo cajamarquino aumenta en 0.208 (20.6%), y en temporada seca en 0.139 (13.4%), mejorando la estabilidad de forma significativa. Los resultados obtenidos también indican que con la aplicación del Rye Grass Ecotipo cajamarquino como técnica de revegetación contra la erosión en temporada de lluvia disminuye en 3.9 mm (3.8% humedad) y en temporada seca 2.3 mm (0.9% humedad).

PALABRAS CLAVES: Revegetación, Rye Grass, erosión, estabilidad, taludes, F.S, humedad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El constante incremento de la preocupación por el cuidado y la defensa del medio ambiente ha facilitado que se realicen diversos estudios para ofrecer soluciones ingenieriles amigables con la naturaleza (Sánchez, 2019).

Actualmente en la empresa minera en estudio se vienen presentando problemas constantes debido a deslizamientos junto con erosiones en los taludes, los cuales sufren de cambios morfológicos de los suelos continuamente. Esto se genera debido a las condiciones climatológicas y accidentadas propias de la zona, lo cual afecta directamente a la estabilidad de los taludes y sobre todo pone en riesgo a los trabajadores, equipos y operaciones. Debido a esto se genera la necesidad de emplear técnicas amigables con el medio ambiente que a su vez permitan dar solución a los problemas que se vienen suscitando.

La erosión de los terrenos constituye uno de los problemas ambientales más considerables que enfrenta el mundo hoy en día, en especial en la minería a cielo abierto; ya que este tiene un gran impacto en el paisaje, por lo que, al eliminar la vegetación y la capa orgánica; para proceder con la extracción del material valioso, el suelo se vuelve menos fértil y más vulnerable a la erosión (Sánchez, 2019).

La erosión hídrica es la causalidad más significativa de la destrucción de los suelos y de la creación de serios impactos ambientales, tal es así, es que se emplea la bioingeniería como una alternativa económica y eficaz para solucionar tal problemática (Hernández y Guardado, 2014). Por tanto, se considera a la bioingeniería como una disciplina constructiva

que persigue metas técnicas, ecológicas, estéticas y económicas, utilizando materiales vivos como semillas y plantas en combinación con materiales inertes (Schiechteln, J. 1998, citado por Hernández y Guardado 2014).

Del mismo modo Rickson y Morgan (2004, citado por Hernández y Guardado 2014) sostienen que los sistemas de bioingeniería son más sostenibles y sustentables a futuro, ya que la vegetación tiene el poder de auto regenerarse y es capaz de responder de forma dinámica y natural a situaciones climáticas cambiantes sin disminuir sus propiedades ingenieriles. Con el fin de revertir tal situación Rodríguez y Torres (2012), consideran que un método para controlar la erosión, son las barreras con bermas protectoras construidas con pastos y plantas herbáceas, de tal manera que, sus raíces permitan el amarre del suelo evitando así el desprendimiento del material. Asimismo, dentro de las técnicas a emplear serían el uso de polímeros sellantes para control de la erosión, adicionando el uso de materiales geosintéticos (HDPE), madera, rocas, los cuales se acoplan con cultivos de diversas especies vegetales.

Para tener respaldo en los resultados encontrados se estudiaron **antecedentes** previos a la investigación, a **nivel internacional**, Hernández y Guardado (2014), en su trabajo de investigación denominado “Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel – Cuba”, en cual proponen el uso de procedimientos de bioingeniería para solucionar de modo rápido, económico y eficiente la problemática ambiental que causan las presas de colas descubiertas a los agentes del intemperismo. La metodología empleada fue la experimentación de cultivo de elementos vegetales (*Casuarina equisetifolia*, *Vetiveria Zizanoide*, *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum* y *Digitaria decumbens stent*) adaptables a las condiciones de la zona en estudio, con la finalidad de formar una capa vegetal que evite el

desprendimiento y la erosión en los taludes. Los resultados muestran que, para una posibilidad media de ocurrencia en temporada de invierno precipita el 63 % de las lluvias anuales, siendo los últimos meses del año el de mayor incidencia, con un 14 % del total anual. Por otro lado, en la época de verano que es en marzo se encuentra el 36,9 % es decir, con un porcentaje mínimo de 6,1 % del total anual. En la valoración de los riesgos de la zona de investigación se definen una lista de jerarquías de amenazas y el tipo de vulnerabilidad de las presas de colas; por lo cual se realiza una delimitación de cada clase de riesgo para determinar posibles soluciones ingenieriles para cada uno, pudiendo así aminorar los riesgos presentes. Asimismo, se evidencia que las áreas con índice de alto riesgos son las zonas norte y este de la presa de colas, necesitando sistemas de bioingeniería muchos más complejos para mitigar los riesgos de estas zonas. Concluyendo que al aplicar esta técnica se logró un afianzamiento por encima del 95% controlando el desprendimiento de los suelos.

Por otro lado, López (2020) en su trabajo de investigación titulado “Estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería en procesos erosivos en Colombia”, tuvo como objetivo principal desarrollar un informe técnico al servicio de la colectividad sobre la aplicación de la bioingeniería en zonas con bastante presencia de laderas que comprenden desde los 1000 hasta los 3000 m.s.n.m. Haciendo una compilación de las técnicas empleadas mayormente con resultados eficientes señalan que un 3% se encuentran dos técnicas como alternativas rápidas y viables de solución: El recubrimiento con fibras y el uso de cespedones. Sin embargo, la desventaja de este último a largo plazo es que no es tan efectivo ya que el pasto no ofrece un anclaje fuerte que evite la remoción de grandes masas del suelo. Por otro lado, lo que si ofrece una mayor ventaja en la estabilización de taludes es la aplicación de

recubrimiento con fibras, por ejemplo, en la construcción de carreteras. También es importante resaltar otra técnica que ayude a la estabilización de diversos taludes como es la hidrosiembra; este sistema es escasamente utilizado ya que sus costos operativos son elevados y el tiempo de adaptación y respuesta no son los esperados. La conclusión es que las aplicaciones que probaron, entre otras, zanjas de guadua, siembra viva, gaviones en bolsas de tierra sembrada y canales en suelo de cemento, permitieron mitigar graves problemas en zonas urbanas y rurales con materiales de origen local con menores costos, porque la vegetación se utiliza para promover la normal recuperación del suelo dañado, lo que restablece su estructura de acuerdo a la delimitación del área respectiva, es aquí cuando hablamos de estabilizar taludes o laderas con serios problemas de erosión y deslizamientos en carreteras. En estos lugares el uso de vegetación es fundamental, porque reduce el efecto y la fuerza de la lluvia sobre la pendiente.

Así mismo, a **nivel nacional** Diaz (2018) en su tesis titulada “Técnicas de Bioingeniería y biotecnología en taludes del Cerro de la Picota Huamanga – Ayacucho”, tubo por objetivo determinar los riesgos geodinámicos potenciales derivados de la erosión y deslizamientos de tierra a gran escala en el Cerro de la Picota, que afectarían gran parte de la zona de Ayacucho, y mejorar la pendiente a través de bioingeniería y biotecnología. Los resultados numéricos promedio de los diferentes métodos de factor de seguridad dan un resultado de 0.970 en la condición saturada y 1.325 en presencia de aglomeración aparente de las raíces, y este aumento en el factor de seguridad garantiza de manera más confiable la estabilidad de las laderas de la zona de estudio del Cerro de la Picota. Llegamos a la conclusión que los árboles pueden reducir significativamente la ocurrencia de deslizamientos de tierra profundos o superficiales debido a la acción de sus raíces, que actúan principalmente

como un sistema de refuerzo y tienden a minimizar los efectos de la erosión eólica y de aguade escorrentía pluvial. Se evitará la erosión y la infiltración de agua por lluvias máximas mediante geomallas y el cultivo de pastos naturales como el ichu, oriunda de la zona.

De igual forma Sánchez (2019) en su trabajo de investigación titulado “Estabilización de taludes mediante la técnica de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver en zonas tropicales”, tuvo como objetivo aprovechar la contribución de las raíces del pasto vetiver a la resistencia de los cortes a suelos en pendiente y medir la variabilidad de la estabilidad mediante la aplicación de la técnica de bioingeniería. Los resultados muestran que pasar de factores inestables a estables reduce los costos en un 33% en comparación con las técnicas tradicionales de medición de cortes para banquetas. Por lo tanto, se sugiere que el uso de pasto vetiver es una alternativa viable y económicamente rentable para la estabilización de pendientes y el control de la erosión en regiones tropicales. Concluimos que la variación mediante el uso de pasto vetiver resultó en un aumento del 66% y 70% en la estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

También Mays (2017) en su tesis titulada “Reducción de la erosión hídrica del suelo, con la utilización de la Vetiveria Zizanoide en la Microcuenca de Tingoragra – Nauyan Rondos, Provincia de Huánuco 2017”, tuvo como objetivo reducir la erosión hídrica mediante el uso de Vetiveria 'Chrysopogon Zizanoide' en el suelo de la microcuenca Tingoragra-Rondos. Para ello se evaluaron parámetros como la cuantificación de la pérdida de suelo y parámetros fisicoquímicos del suelo y se describió de manera analítica cada una de las tres micro parcelas. Los resultados para la cantidad máxima de suelo erosionado superficialmente por lluvia son 11.68 (ton/ha/época húmeda) para la micro parcela 03 – (sin plantación) y 8.2

(ton/ha/época húmeda) para la micro parcela 02 – (plantación de plantas nativas) y finalmente micro parcela 01 – (Plantación de Vetiveria Zizanoide) 4.59 (ton/ha/época húmeda). De esta manera, la reducción del suelo erosionado por las lluvias se logra mediante la siembra de Vetiveria Zizanoide en micro parcelas utilizando palos de erosión.

A lo largo del desarrollo de la tesis se emplearán ciertos términos, los cuales se describen a continuación como parte de la **base teórica**. La erosión depende en gran parte de la naturaleza de las precipitaciones, las propiedades de la superficie y las características topográficas; como resultado la tierra se vuelve más empobrecida en nutrientes e infértil con el tiempo. Por lo tanto, una de las soluciones efectivas y sostenibles a este problema es el restablecimiento de la vegetación posteriores a las labores mineras.

Así lo sostiene Diaz (2018) que, para evitar la segregación y el transporte del suelo, los componentes biológicos y mecánicos deben trabajar de forma integrada y complementaria.

Denominamos a un talud como cualquier superficie que está inclinada con respecto a la horizontal y que debe ser ocupada permanentemente por un movimiento de tierras. No hay duda de que los taludes son estructuras complejas de analizar. Esto se debe a que los problemas de mecánica de suelos y mecánica de rocas coinciden en esa investigación. Tampoco debemos olvidar el papel fundamental que juega la geología aplicada en el desarrollo de criterios de aceptación. Si un talud se produce de forma natural sin intervención humana, se le llama talud natural o simplemente talud. Cuando el ser humano crea terraplenes, se les llama terraplenes cortados o artificiales, dependiendo del origen de su creación. El corte implica excavación en formaciones geológicas naturales (espacios libres), mientras que los taludes artificiales representan el plano inclinado de una pendiente. Matteis (2003)

La estabilidad de una pendiente está determinada por factores geométricos (por ejemplo, la altura y la pendiente), factores geológicos (presencia de agua), factores geotécnicos o factores relacionados con el comportamiento mecánico del suelo (resistencia y deformación). Según datos estadísticos, el 40% de deslizamientos de tierras suceden debido a las fuertes lluvias. Yoza (2017). Por tal motivo, la bioingeniería considera que uno de los métodos efectivos para la protección de taludes es utilizando cubiertas vegetales para sus recubrimientos teniendo en cuenta aspectos hidrológicos, mecánicos, ambientales y económicos.

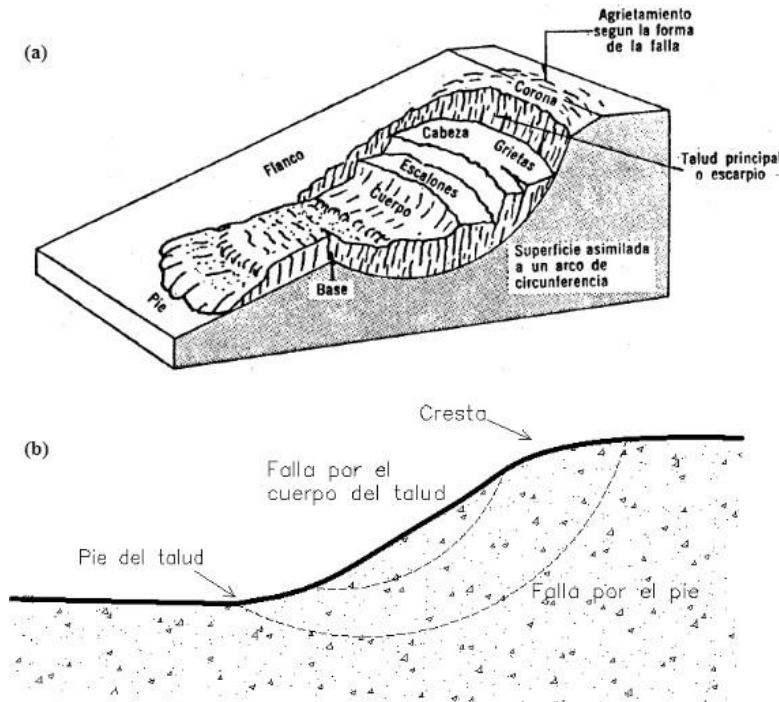
Entendemos que la estabilidad de taludes se refiere a la seguridad de la masa de tierra contra fallas y movimientos. La primera medida es que es necesario definir criterios específicos de estabilidad de taludes para aclarar qué taludes son apropiados para el corte o el relleno.

Los problemas asociados con la estabilidad de las pendientes naturales son fundamentalmente diferentes de los que se encuentran en las pendientes artificiales. Es importante que se debe considerar de manera diferente el grado de estabilidad tanto para los cortes de laderas como para los terraplenes. Las principales diferencias residen, en primer lugar, en la naturaleza de los materiales implicados y, en segundo lugar, en la formación del talud y su historia geológica, las condiciones climáticas predominantes durante esta historia y las circunstancias que dependen de la influencia humana. La historia y origen de la formación de los taludes y laderas, la historia de tensiones a las que han sido sometidos, la influencia del clima y las condiciones ambientales generales definen aspectos tan importantes como la composición del suelo, las rocas y el flujo de aguas subterráneas y son estas las que influyen

decisivamente en su estabilidad. (Matteis, 2003, p 04)

Figura 1

Zona de Deslizamiento en un Talud.



Nota: Reproducido de Estabilidad de Taludes (p. 07), por A. Matteis, 2003, Universidad Nacional De Rosario.

Las técnicas bioingeniería para el afianzamiento de taludes han demostrado un impacto positivo de la vegetación en la prevención de problemas erosivos y destrucción del subsuelo. Los árboles y arbustos con raíces profundas proporcionan una mayor resistencia a la cohesión de la capa superior del suelo y también promueven el drenaje subterráneo, reduciendo la probabilidad de deslizamientos de tierra poco profundos. (Sánchez, 2019).

Existe una asociación positiva entre la erosión y la vegetación, ya que el efecto más importante de la vegetación generalmente reconocido es la protección contra la erosión en

todos los casos y para todos los tipos de vegetación (Sánchez, 2019).

Para controlar la erosión es necesario identificar las etapas de la erosión las cuales comprenden como avulsión, transporte y posterior deposición de suelos y rocas bajo la acción de las fuerzas de los fluidos en movimiento. El proceso de erosión depende de varios factores como la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia, forma de pendiente, tipo de suelo, ubicación de la pendiente y tipo de vegetación. (Díaz, 2018).

Las especies vegetales utilizadas en técnicas de bioingeniería deben poseer varias características, tales como: Tipo de sistema radicular y capacidad de enraizamiento, tasa de crecimiento, preferencia del suelo (textura y drenaje), preferencia del pH del suelo, tasa de establecimiento, potencial de invasión, tolerancia a la sequía, tolerancia al sol y la sombra, tolerancia a las inundaciones, tolerancia a la sedimentación, resistencia al viento, resistencia al fuego y tolerancia a la pisada. (Sánchez, 2019).

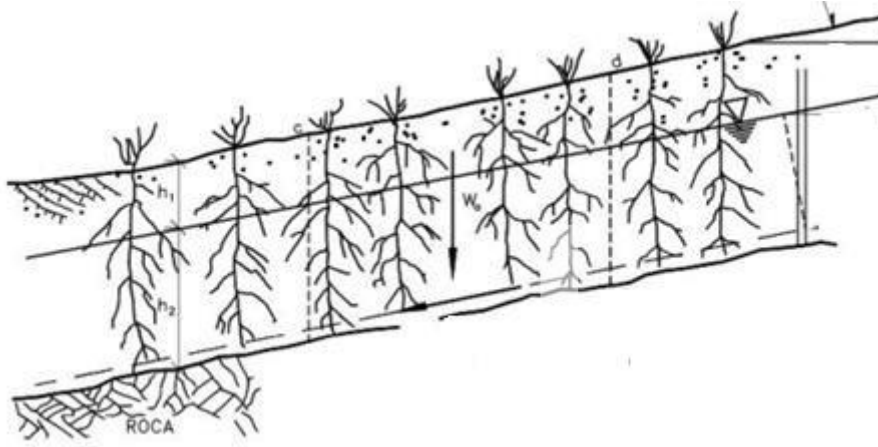
Las condiciones agroecológicas para el Rye Grass se encuentran en climas templados a fríos de 2.300 a 4.000 metros sobre el nivel del mar. Tolera la sequía y tolera heladas severas. Está ampliamente adaptado a una variedad de tipos de suelo, incluidos valles, laderas y jalcas de las tierras alto andinas del Perú, y es rico en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, y tiene un valor de pH de 5. -7.

El Rye Grass Ecotipo Cajamarquino es un cruce entre Rye Grass italiano y Rye Grass perenne. Esta nueva generación de especies surgió en el Valle de Cajamarca y continúa desarrollándose. Tiene un desarrollo precoz, especialmente en la región andina de Jalca, donde puede producir forraje verde después de 60 días. La altura media de las plantas es de 95 cm. Se utiliza para corte, pastoreo directo, producción de heno, ensilaje y, en ocasiones, se siembra

con otras semillas para equilibrar el valor nutricional de los pastos perennes. (INIA, p. 10 1999, citado por López 2021).

Figura 2

Anclaje de raíces.



Nota: Adaptado de Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales (p. 290), por J. Suarez, 1998, Universidad Industrial de Santander.

Según Sánchez (2019) Se considera que el factor de seguridad es la relación entre la resistencia a la corte real calculada del material en el talud y el esfuerzo cortante crítico destinado a causar falla a lo largo de la superficie supuesta de falla potencial:

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}} \quad (1)$$

La relación del factor seguridad en las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}} \quad (2)$$

En tal sentido, la implementación de la bioingeniería se ofrece para dar solución a problemáticas propias de los suelos, tal como su mismo nombre lo indica consiste en dar solución a requerimientos de ingeniería a través de la utilización de materiales naturales, teniendo en cuenta criterios técnicos tomando en cuenta su funcionalidad, resistencia, contención, rehabilitación, bajos costos, etc.

La justificación teórica de la presente investigación se sustenta en contribuir con la ampliación de información existente sobre el uso de técnicas amigables con el medio ambiente que permitan mejorar las condiciones de las operaciones mineras, en este caso la presente tesis contribuye aportando nuevos conocimientos referentes a la estabilización de taludes reduciendo la erosión hídrica que presentan principalmente por las condiciones de la zona, dentro de las que destacan las técnicas de bioingeniería con excelentes resultados, debido a la controversia entre la minería y el medio ambiente en la mayoría de casos no se le da la importancia necesaria al uso de las mismas, por lo tanto gran parte de la información referente a antecedentes previos no está disponible, o se encuentra con acceso restringido al ser datos confidenciales. La técnica empleada es la de revegetación con Rye Grass, el cual se usa como barrera natural contra la erosión, estabilización y rehabilitación de tierras contaminadas, además contribuye en la sostenibilidad ecológica y económica, esta tesis es una de las primeras aplicaciones de la bioingeniería en el departamento de Cajamarca.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la aplicación de una de la técnica de revegetación con Rye Grass Ecotipo cajamarquino controlará la erosión hídrica de los taludes en una mina superficial, Cajamarca 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la técnica de revegetación con Rye Grass Ecotipo cajamarquino para el control de la erosión hídrica de taludes en una mina superficial ubicada en Cajamarca en el año 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones de estabilidad antes de aplicar la técnica de revegetación.
- Describir la aplicación de la técnica de revegetación.
- Determinar la influencia de la técnica de revegetación en la estabilidad del talud.

1.4. Hipótesis

Con la evaluación de la técnica de revegetación con Rye Grass Ecotipo cajamarquino se determinará su influencia en el control de la erosión hídrica de taludes, así como la estabilidad física de los taludes.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

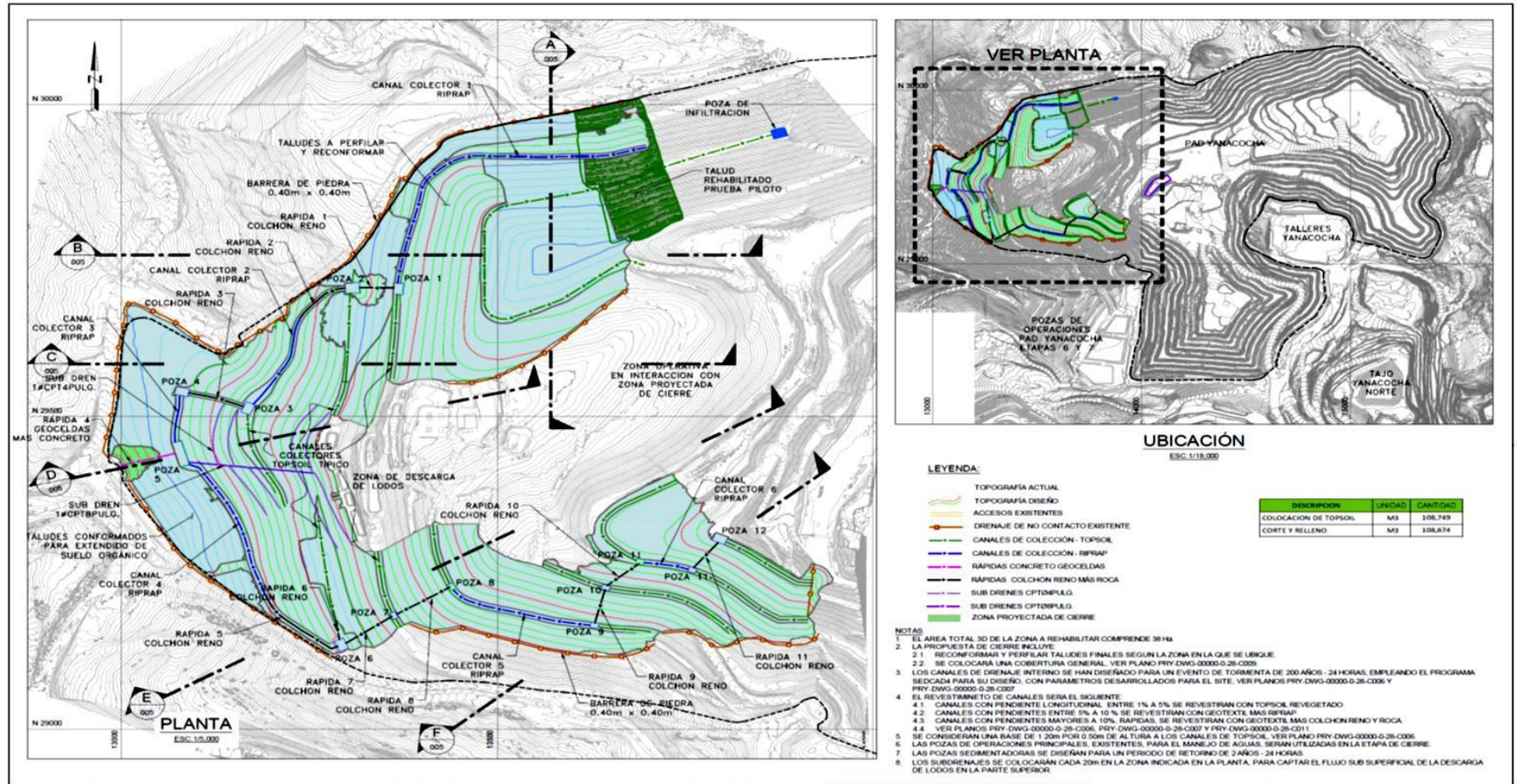
El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que se pretende relacionar y medir la fuerza de asociación entre las variables técnicas de bioingeniería y erosión hídrica, empleando datos numéricos y porcentuales en el análisis de resultados. Se clasifica como Aplicada ya que busca controlar problemas de erosión hídrica en taludes en proceso de cierre. Para Murillo (2008), La investigación aplicada se denomina “investigación práctica o empírica”, y se caracteriza porque luego de poner en práctica y sistematizar prácticas basadas en la investigación, aplica y utiliza los conocimientos obtenidos, y al mismo tiempo intenta adquirir otros conocimientos.

Según el proceso de recolección de datos, el trabajo de investigación es retrospectivo, ya que se empleará los registros y planos proporcionados por el área de geomecánica. Es transversal ya que se realizó una sola medición de datos de los resultados de la aplicación de la técnica. Corresponde a una investigación No Experimental con diseño descriptivo ya que no se realizará manipulación de ninguna de las variables para medir su relación directa con la variable dependiente (erosión hídrica).

La población asumida en la presente tesis es los taludes de La Quinoa Waste Dump (60 hectáreas). La muestra asumida está constituida por 38 hectáreas pertenecientes al talud ubicado en el banco 3045, para la selección de la muestra se realizó el muestreo aleatorio básico, a partir de la base de datos proporcionada por el área de geología, en el departamento de Cajamarca.

Figura 3

Vista en planta del área muestral

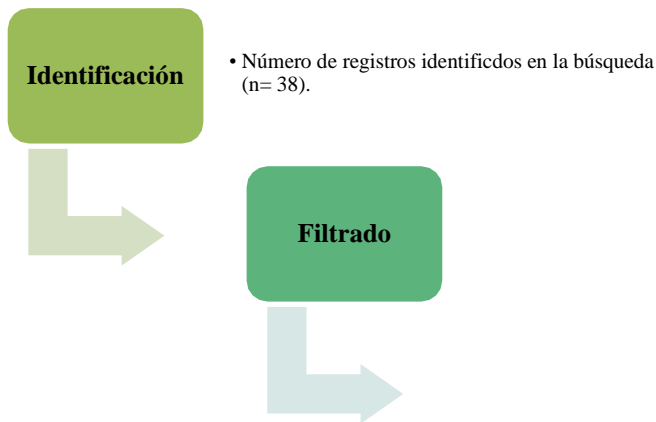


Fuente: Área de planeamiento.

Inicialmente se aplicó la técnica de observación no participante, mediante la cual se observó los efectos de la erosión hídrica en los taludes, siendo uno de los factores que desestabilizan. Posteriormente se empleó la técnica de búsqueda, recopilación y análisis de datos, esta técnica permitió organizar la información referente a datos de estudios previos e información geológica y geomecánica del talud en estudio. Finalmente se aplicó la técnica de procesamiento de resultados, en la cual se filtró la información obtenida con ayuda del programa Excel, elaborando una base de datos consistente enfocada en los objetivos del proyecto.

Figura 4

Estructura del procedimiento para la recolección de información



El procedimiento abarcó 3 etapas, inicialmente en la etapa de Pre campo, se recopiló la información pertinente en base a antecedentes previos a nivel internacional, nacional y

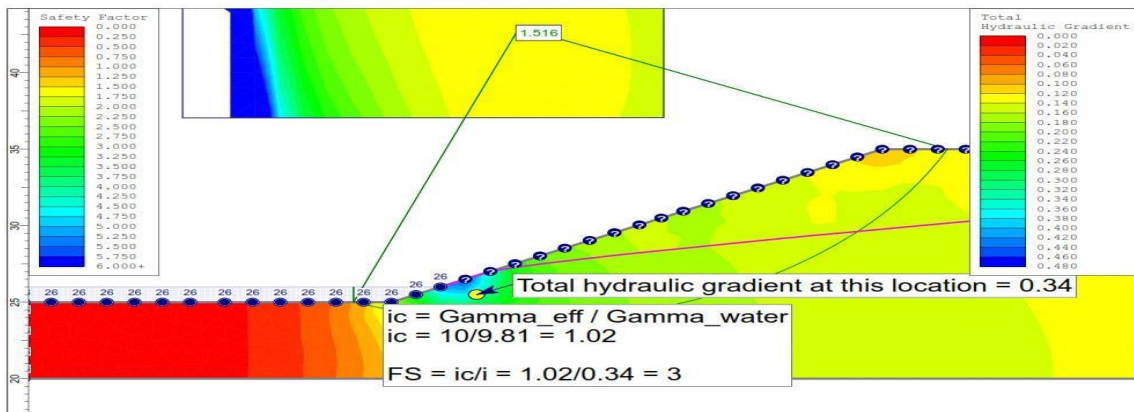
local. Durante la fase de campo, se seleccionaron especies de plantas para restauración de acuerdo con los resultados de los análisis de monitoreo iniciales. Fueron identificados a partir de especies de plantas que crecían espontáneamente en áreas cercanas o hábitats similares, tipos de propagación de cada especie, marco de plantación y siembra de cada especie, se definió si la vegetación tenía características deseables (raíces, follaje, tolerancia a condiciones extremas, hábito de crecimiento, determinación de la disponibilidad de material vegetal en el sitio de préstamo). Esto determina la cantidad de plantas que deben mantenerse en el banco de regeneración de plantas.

Los instrumentos de medición utilizados en este estudio incluyeron hojas de campo como herramientas de recolección de datos, hornos eléctricos (para remover y medir el contenido de humedad), tamices estándar (para medir el tamaño de las partículas), vasos Casagrande (para medir el límite líquido de una muestra de terreno y su consistencia) y cortadores directos (para medir parámetros de resistencia) y el software Slide V6.0 (para el análisis de estabilidad de taludes). El formato utilizado se enumera en el Anexo 1.

Este instrumento es una adaptación al formato creado y utilizado por el Ingeniero Civil Jesús Sánchez Pillpa para optar por su título profesional con la tesis “Estabilización de taludes mediante la técnica de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver en zonas tropicales, año 2019”.

Figura 5

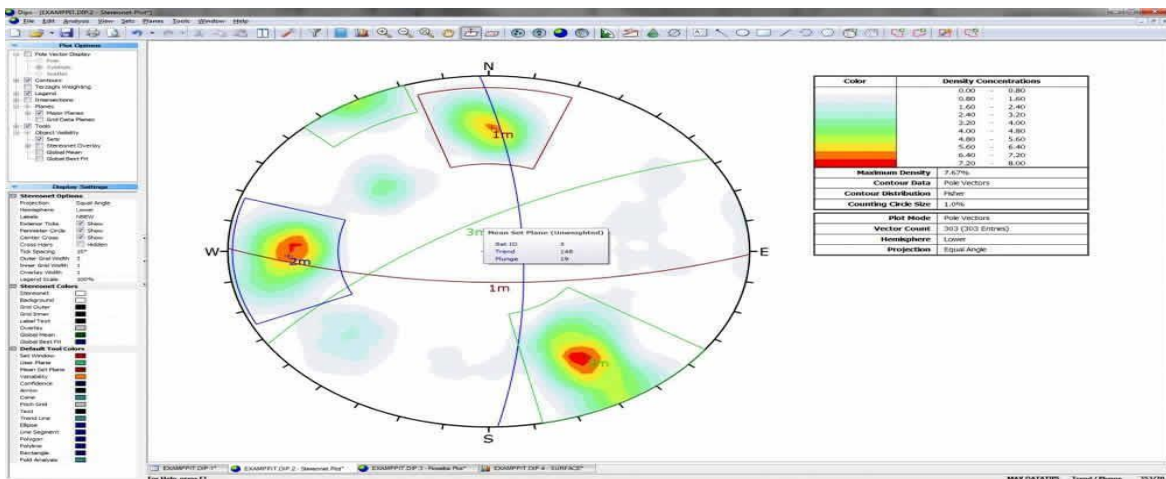
Medición de condiciones de estabilidad Slide



Este instrumento realiza las mediciones de los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos, valores que son adimensionales es decir no tienen una unidad de medición.

Figura 6

Análisis de fallas



Fuente: RocScience, 2022.

Estos softwares se emplean como medios de análisis de datos y están validados por su uso constante en los diferentes proyectos mineros. Ver Anexo 2.

Estos formatos fueron desarrollados y validados con base en las afirmaciones de Leventhal y Mostyn (1987, citado por Sánchez 2019). Esta afirmación indica que las raíces de menos de 20 mm de diámetro son más importantes para la estabilidad de la pendiente que las raíces con diámetros mayores. Ver Anexo 3

En la tercera y última etapa de “Gabinete” se seleccionaron especies de plantas para restauración de acuerdo con los resultados de los análisis de monitoreo iniciales. Fueron identificados a partir de especies de plantas que crecían espontáneamente en áreas cercanas o hábitats similares, tipos de propagación de cada especie, marco de plantación y siembra de cada especie, se definió si la vegetación tenía características deseables (raíces, follaje, tolerancia a condiciones extremas, hábito de crecimiento, determinación de la disponibilidad de material vegetal en el sitio de préstamo).

En cuanto a los aspectos éticos a considerar, este trabajo se realizará según el formato manejado por la Universidad Privada del Norte, por lo tanto, los investigadores están obligados en primer lugar a cumplir con las normas de las instituciones que rigen su investigación, incluyendo los derechos de autor. En segundo lugar, divulgaremos las fuentes de información y los hallazgos útiles considerados en relación con este estudio. En tercer lugar, proporciona información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, y sus resultados se demuestran y comparten para investigaciones nuevas y futuras. Cuarto, presentamos una descripción general fácil de entender de todo el estudio,

centrándonos en la metodología, el análisis y la interpretación de los resultados. Después de todo, está citado correctamente según las normas APA.

CAPÍTULO III: RESULTADOS**3.1. Condiciones de estabilidad del talud sin revegetación**

A continuación, se muestran las condiciones actuales de estabilidad física de los taludes.

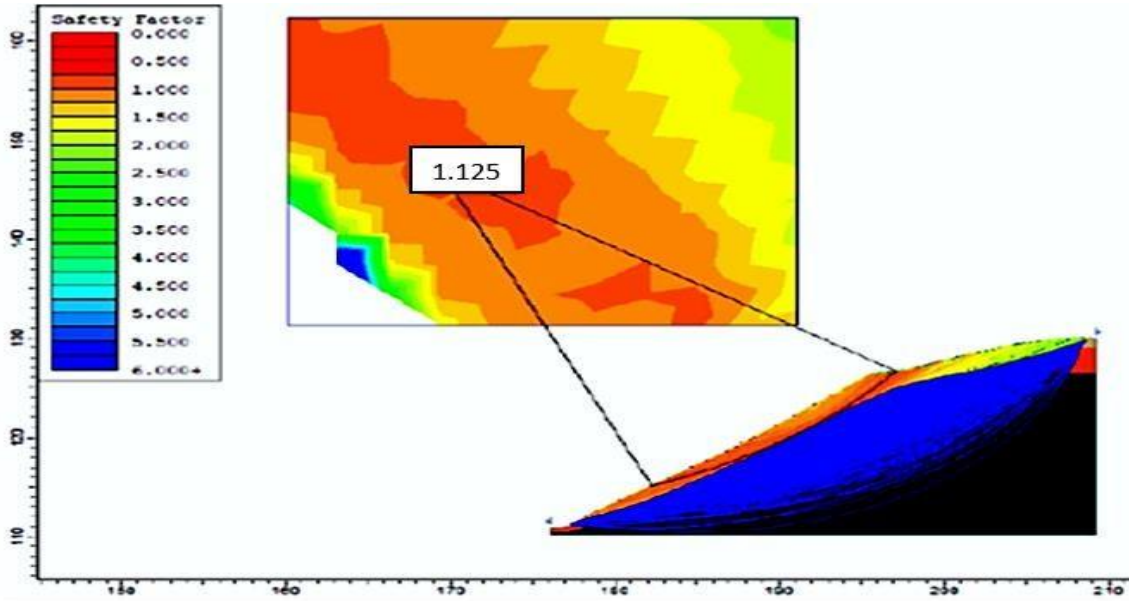
Tabla 1*Factor de seguridad de estabilidad del talud*

Factor de seguridad Estático	Factor de seguridad Pseudoestáticas
1.125	1.039
1.095	1.010
1.110	1.025

Fuente: Área de Geomecánica.

Figura 7

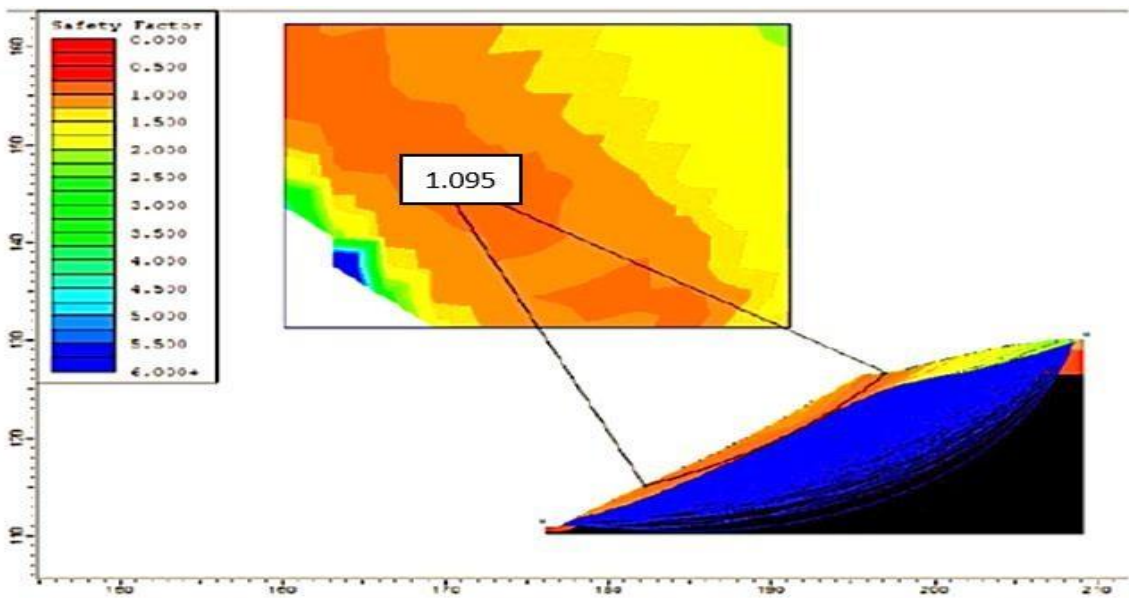
Análisis estático del talud sin revegetación – temporada seca



Fuente: Software Slide.

Figura 8

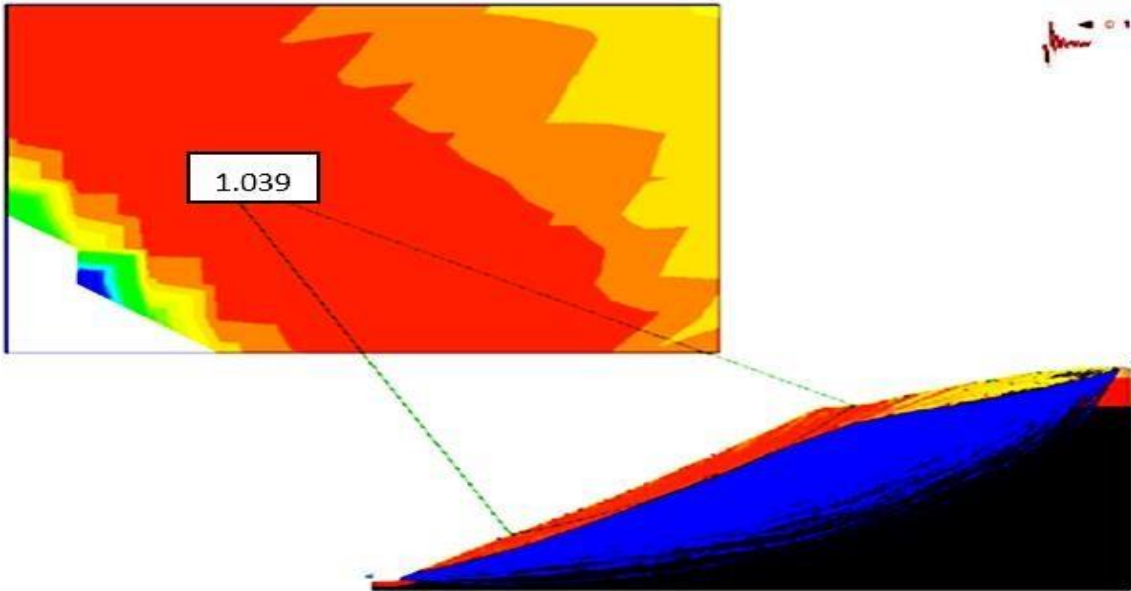
Análisis estático del talud sin revegetación – temporada de lluvia



Fuente: Software Slide.

Figura 9

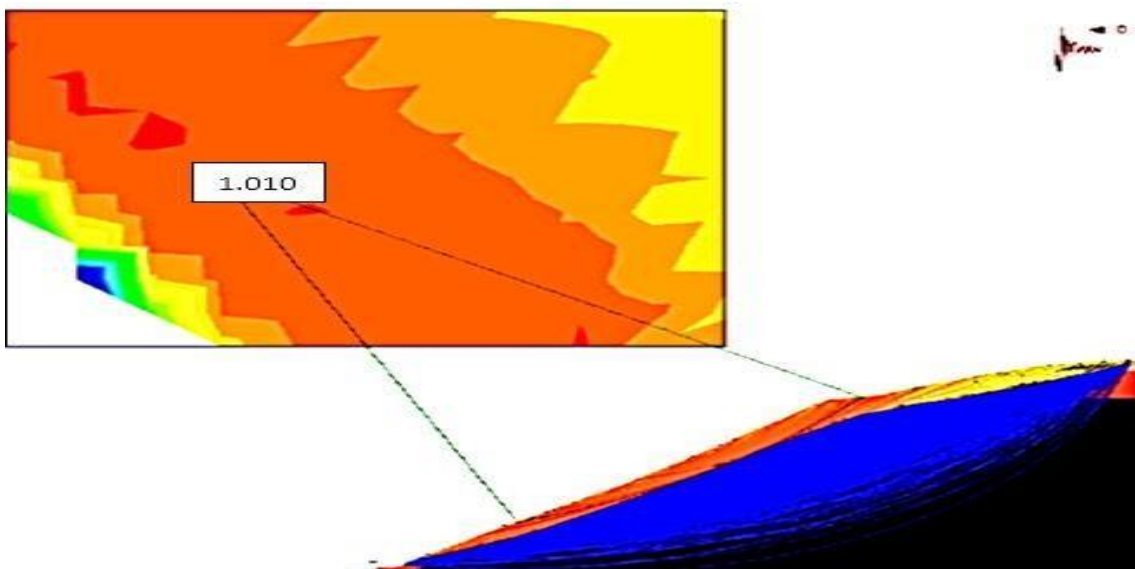
Análisis pseudoestáticas del talud sin revegetación – temporada seca



Fuente: Software Slide.

Figura 10

Análisis pseudoestáticas del talud sin revegetación – temporada de lluvia



Fuente: Software Slide.

Tabla 2

Propiedades físicas del suelo del talud sin revegetación - temporada seca

Precipitación	Infiltración	%	%Índice de
(mm)/día	(mm)/día	Humedad	Plasticidad
27,4	12.3	15.8%	11.2%
27,2	10.5	14.3%	10.4%
26,8	13.6	17.6%	12.5%
26,5	11.5	12.8%	10.2%

Fuente: Área de Geomecánica.

Tabla 3

Propiedades físicas del suelo del talud sin revegetación - temporada lluvia

Precipitación	Infiltración	%	%Índice de
(mm)/día	(mm)/día	Humedad	Plasticidad
41,8	22.4	20.3%	12.4%
41,4	19.8	17.8%	11.5%
40,8	20.3	18.7%	10.9%
40,4	18.9	17.2%	10.7%

Fuente: Área de Geomecánica.

3.2. Aplicación de la técnica de revegetación

A continuación, se detalla los procedimientos e insumos de la aplicación de la técnica de revegetación. Se optó por la construcción de barreras contra la erosión con la

finalidad de reducir la velocidad del agua de escorrentía superficial procedente de las lluvias y minimizar la pérdida de suelo. Finalmente, con la ayuda de la vegetación, la forestación que acompaña a esta actividad tiene como objetivo reducir el movimiento de la capa superficial del suelo y la posibilidad de erosión, lo que lleva a la formación de terrazas que emergen lentamente.

Una vez asignadas las áreas a trabajar, se procedió en primer lugar a realizar el arado de cada una de las parcelas con la finalidad de poder indicar la cantidad de insumos a utilizar (Cal y gallinaza).

De acuerdo a recomendaciones hechas por parte de los Ing. del área de medio ambiente por parte de la empresa minera en primer lugar se tenía que ejecutar trabajos de enmienda con la utilización de cal de las diversas áreas asignadas para siembra final como temporal en diferentes lugares del sector la Quinua, razón por la cual las dos primeras semanas se ejecuta actividades de encalado.

Tabla 4

La cantidad de insumos a utilizar por Hectárea

Insumos	Cantidad
Cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$	1000 kg/Ha.
Gallinaza (Abono Orgánico)	1000 kg/Ha.

Fuente: Área de Medio Ambiente.

Tabla 5

Productos químicos a utilizar por Hectárea

P. Químicos	Cantidad
Urea (NH ₂ CONH ₂)	100 kg/Ha.
Superfosfato Triple de calcio (Ca(H ₂ PO ₄) ₂ •H ₂ O)	100 kg/Ha.

Fuente: Área de Medio Ambiente.

Tabla 6

Semilla de Pastos Mejorados

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE SEMILLA/HA
Rye Gras Ecotipo Cajamarquino	5 kg/ha.
Rye Grass Boxer	4 kg/ha
Dactyles glomerata potomac	4 kg/ha
Trifolium Queñiqueli	2 kg/ha
Dactyles glomerata Amba	3 kg/ha.
Trifolium pratense	2 kg/ha.
Trifolium repens	2 kg/ha.
Rumex acetoclla	4 kg/ha.
Lupinos sp	2 kg/ha.
Nicotiana	2 kg/ha.
Rumex crispus	4 kg/ha.

Festuca fawn	4 kg/ha
Total, de semilla / ha.	38 kg/ha.

Fuente: Área de Medio Ambiente.

La cantidad de personal considerado por hectárea es de 72 obreros, 01 capataz, 01 Ing. Supervisor y 01 Ing. de Seguridad. El tareaje de un obrero fue de 150 m² en ciertas áreas de trabajo se contó con un camión para el transporte tanto de insumos como de las semillas.

Tabla 7

Cuadro de control de actividades

Actividad	Nº jornales	Avance promedio jornal	Avance	Acumulado
			Semanal Has.	Has.
Siembra Mixta	199	160.8	3.2	3.2
Siembra Mixta	281	160	4.496	7.696
Siembra Mixta	192	160	3.072	10.768
Siembra Mixta	29	160	0.464	12.048
Siembra Mixta	22	160	3.5	4.3

Fuente: Área de Medio Ambiente.

A continuación, se resumen las consideraciones al aplicar la técnica de revegetación: Se debe tener el área 100 % reclamada con top Soil, esparcida los insumos en

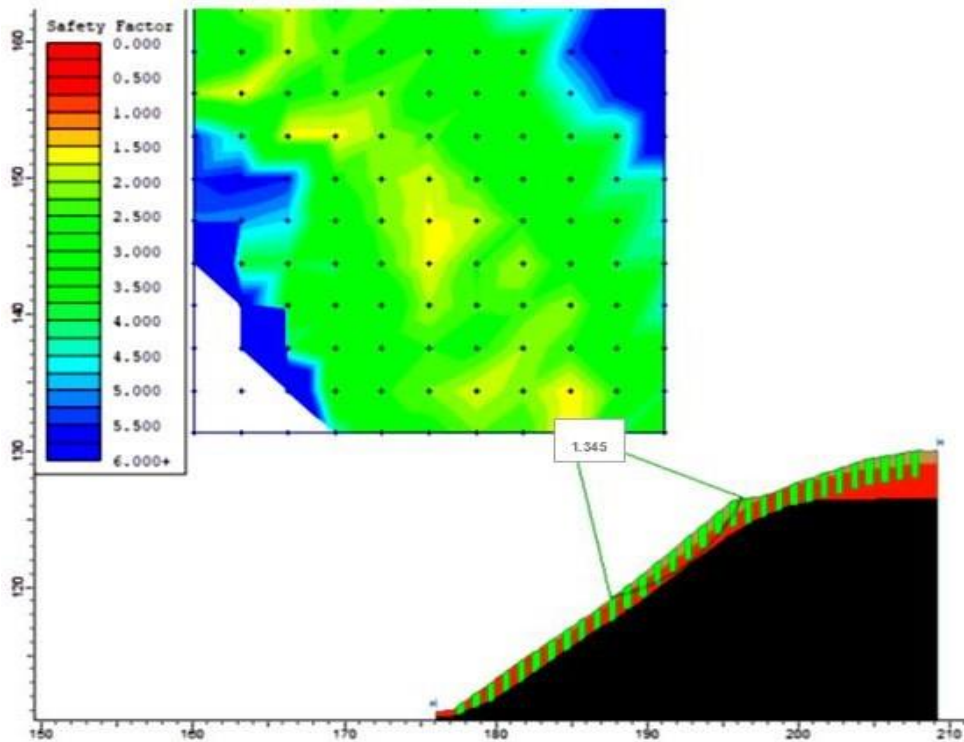
forma uniforme (cal y gallinaza) 1000 Kg/ha de cada uno, mínimo 20 días antes de ejecutar la siembra, se retira la semilla del almacén de acuerdo a las cantidades aprobadas por los Ing. Del área de medio ambiente de la empresa minera, luego se mezclan dichas semillas para luego ser esparcidas e inmediatamente realizar el tapado utilizando rastrillos, tratando que la semilla sea cubierta.

3.3. Influencia de la técnica de revegetación en estabilidad del talud

A continuación, se presenta los resultados del análisis de estabilidad realizados con el software Slide.

Figura 11

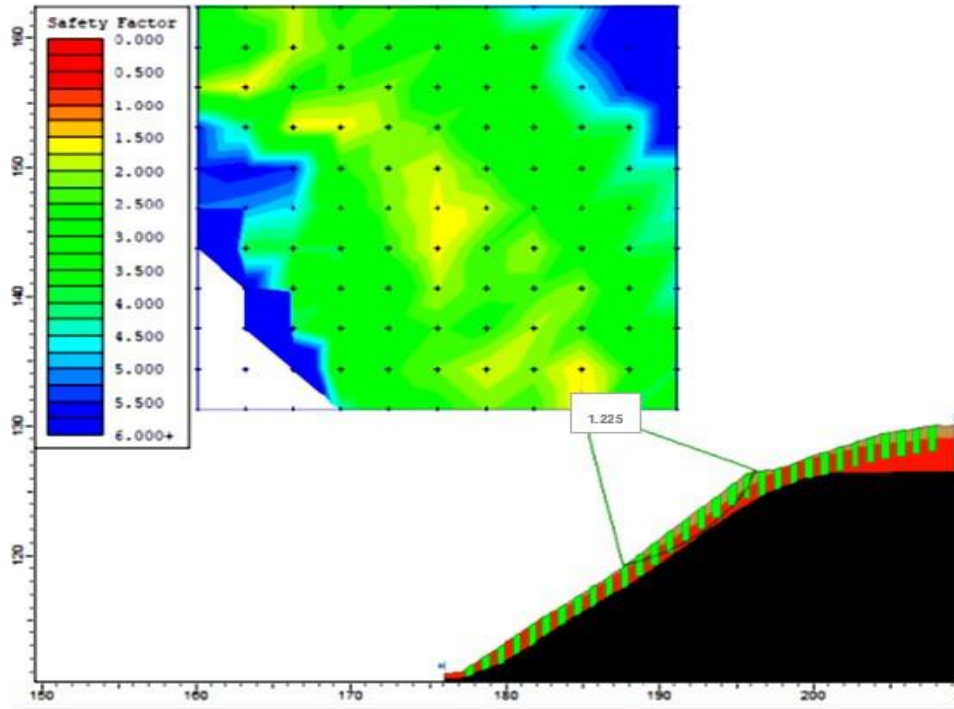
Análisis estático del talud con revegetación – temporada seca



Fuente: Software Slide.

Figura 39

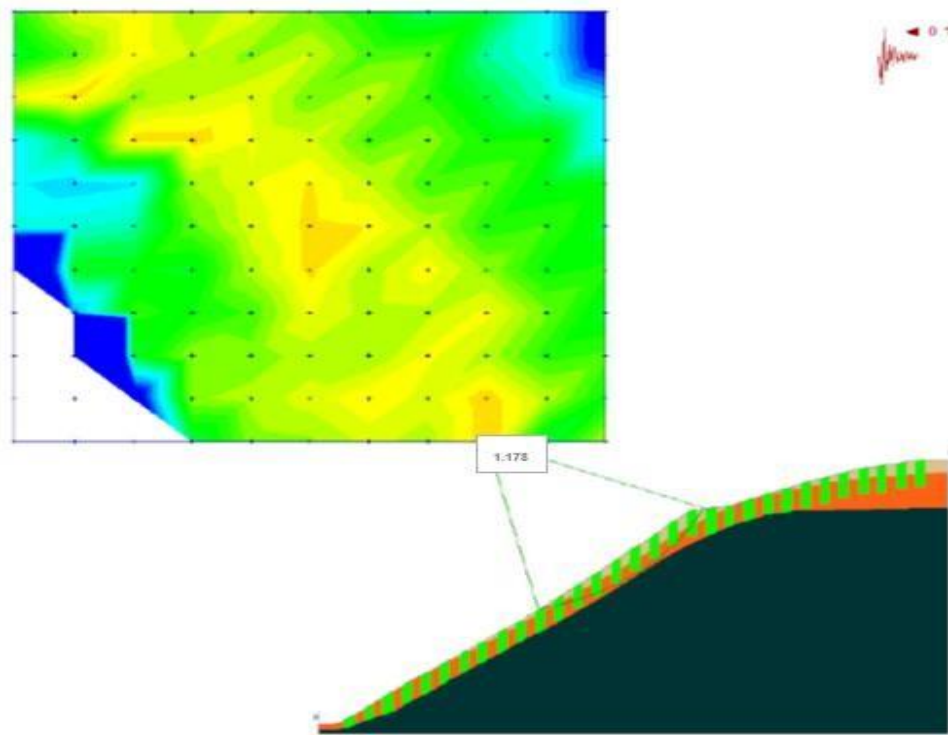
Análisis estático del talud con revegetación – temporada de lluvia



Fuente: Software Slide.

Figura 40

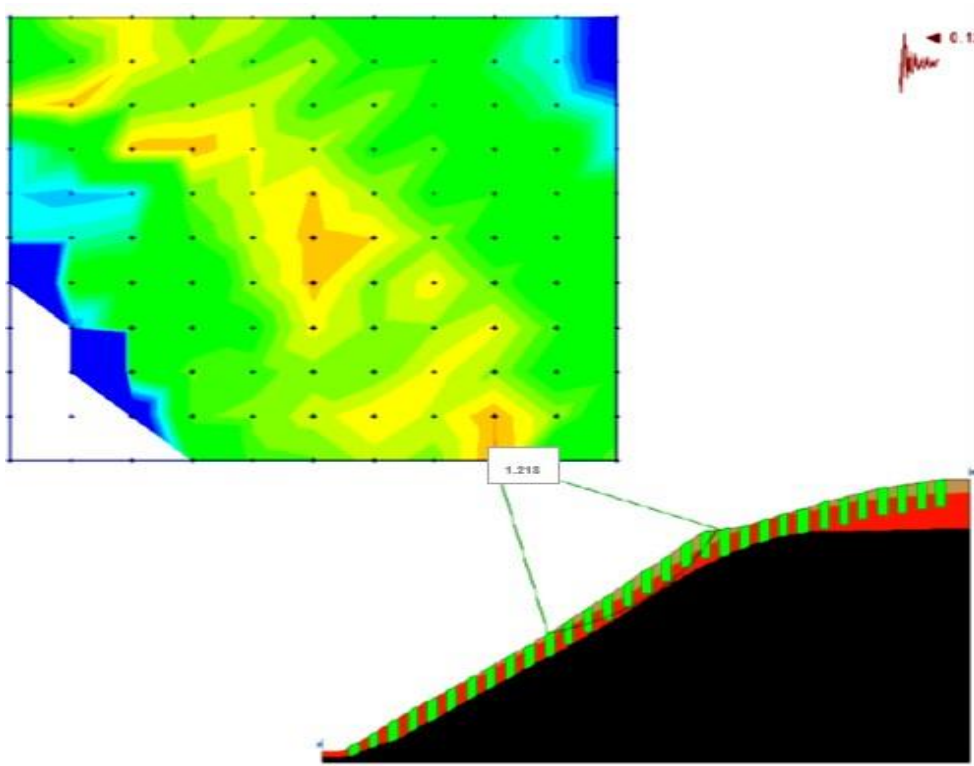
Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada seca



Fuente: Software Slide.

Figura 41

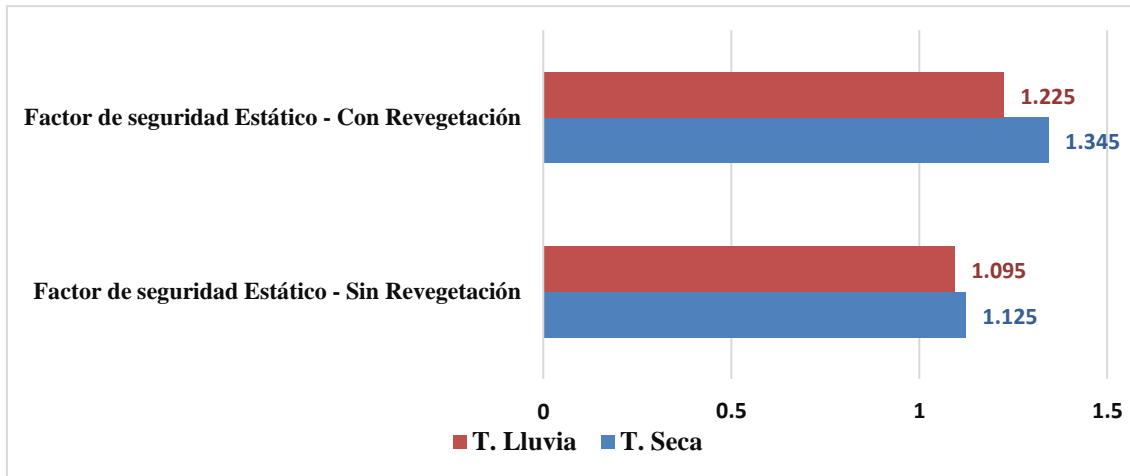
Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada de lluvia



Fuente: Software Slide.

Figura 15

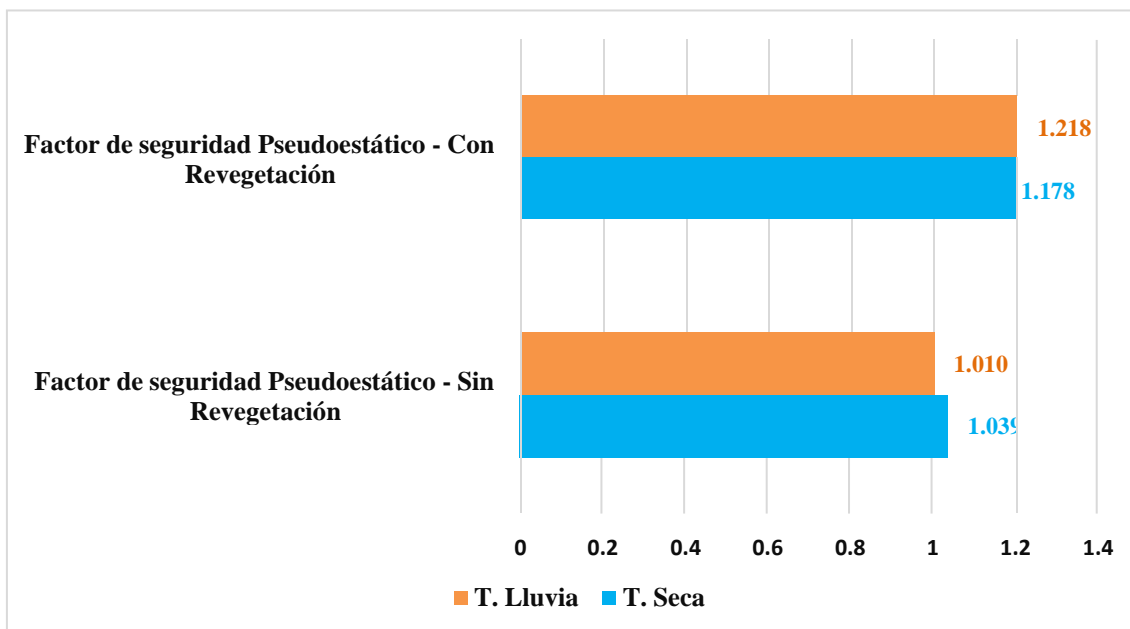
Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad estáticas



El gráfico indica que las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Grass aumentan en 0.13 (11%), y en temporada seca en 0.22 (19.5%), mejorando la estabilidad de forma significativa.

Figura 16

Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad pseudoestáticas



El gráfico indica que las condiciones de estabilidad pseudoestáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Grass aumenta en 0.208 (20.6%), y en temporada seca en 0.139 (13.4%), mejorando la estabilidad de forma significativa.

Figura 17

Gráfico comparativo del % de humedad

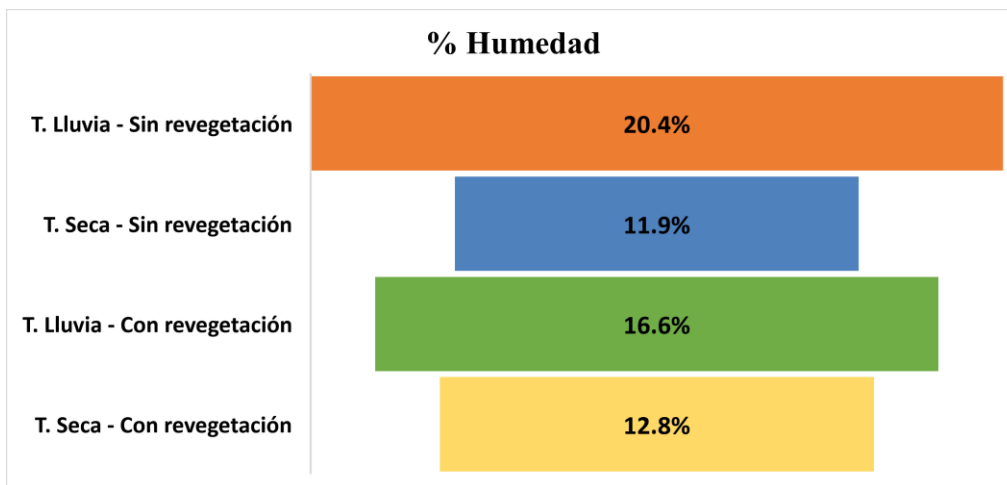
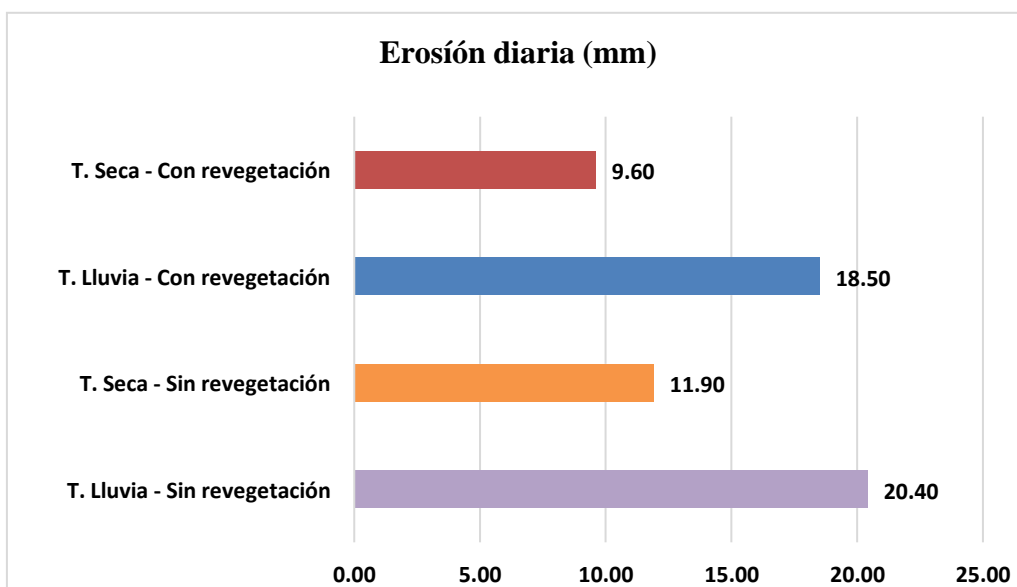


Figura 18

Gráfico comparativo de erosión diaria (mm)



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados encontrados indican que las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass Ecotipo cajamarquino aumentan en 0.13 (11%), y en temporada seca en 0.22 (19.5%), mejorando la estabilidad de forma significativa. De igual forma las condiciones de estabilidad pseudoestáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass Ecotipo cajamarquino aumenta en 0.208 (20.6%), y en temporada seca en 0.139 (13.4%), mejorando la estabilidad de forma significativa.

Estos valores determinados permiten una comparación directa con los hallazgos citados por Díaz (2018). Los resultados numéricos promedio de los diferentes métodos de factor de seguridad dan un resultado de 0.970 en la condición saturada y 1.325 en presencia de aglomeración aparente de las raíces, y este aumento en el factor de seguridad garantiza de manera más confiable la estabilidad en las laderas de la zona de estudio del Cerro de la Picota. Llegando a la conclusión de que los árboles pueden reducir significativamente la ocurrencia de deslizamientos de tierra profundos o superficiales debido a la acción de sus raíces, que actúan principalmente como un sistema de refuerzo y tienden a minimizar los efectos de la erosión eólica y de escombros. El control de la erosión y la infiltración de agua por lluvias máximas se evita mediante geomallas y el cultivo de pastos nativos e ichu, que son plantas nativas del lugar.

Los resultados obtenidos también indican que con la aplicación del Rye Grass Ecotipo cajamarquino como técnica de bioingeniería la erosión en temporada de lluvia disminuye en 3.9 mm (3.8% humedad) y en temporada seca 2.3 mm (0.9% humedad).

Estos datos permiten comparar los resultados con los señalados por Mays (2017). Para ello se evaluaron parámetros como la cuantificación de la pérdida de suelo y parámetros fisicoquímicos del suelo y se describió de manera analítica cada una de las tres micro parcelas. Los resultados para la cantidad máxima de suelo erosionado superficialmente por lluvia son 11.68 (ton/ha/época húmeda) para la micro parcela 03 – (sin plantación) y 8.2 (ton/ha/época húmeda) para la micro parcela 02 – (plantación de plantas nativas) y finalmente micro parcela 01 – (Plantación de Vetiveria Zizanoide) 4.59 (ton/ha/época húmeda). Los resultados mensuales de erosión muestran que se logró una erosión diaria promedio de 8,8 mm con cobertura de Vetiveria Zizanoide y de 10,6 mm sin plantación. Llegando a la conclusión que la reducción del suelo erosionado por las lluvias se logra sembrando Vetiveria Zizanoide en micro parcelas utilizando barras de erosión. Comparando los resultados se puede observar que la planta Vetiveria Zizanoide es muy eficaz para combatir la erosión.

Por otro lado, cabe resaltar que la influencia del Rye Grass Ecotipo Cajamarquino es positiva ya que actúa como regulador de las infiltraciones teniendo efecto directamente sobre el régimen de aguas subterráneas y posteriormente actúa como un secador del suelo, al utilizar el agua que requiere para desarrollarse y auto regenerarse. Esto lo asimilamos a Diaz (2018) que menciona a varias funciones importantes de la vegetación sobre el talud: Interceptando la lluvia, aumentando la capacidad de filtración, extrayendo la humedad del suelo, evitar que se sequen las grietas y lo más importante que refuerzan el suelo a medida que sus raíces van extendiéndose anclando el suelo superficial a capas más profundas disminuyendo así la susceptibilidad a la erosión. La vegetación con follaje denso absorbe

más eficientemente los efectos de la lluvia y reduce la erosión. En hierbas y pastos, la densidad y el volumen de las hojas actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía. Por esta razón para solucionar tal problemática cada día se vienen utilizando más las especies vegetativas ya que es una alternativa técnica, económica, estética y primordialmente amigable con el medio ambiente

Las limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de la tesis se relacionan con el uso del software empleado (Slide), ya que se dificultó el manejo y procesamiento de datos para la presentación de resultados, esta limitación se afrontó con la revisión de videos tutoriales y la revisión del manual disponible en español del software.

Las implicancias prácticas del trabajo de investigación se relacionan con la presentación de un marco de referencia completo con la propuesta de integración de técnicas de ingeniería amigables con el medio ambiente que permiten mejorar condiciones de estabilidad en los taludes con el uso de especies con gran fuerza resistente en raíz que reemplazan al bulonado y anclaje de manera natural, las conclusiones permiten validar el uso y aplicación de la técnica de revegetación.

CONCLUSIONES

Se determinó las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass Ecotipo cajamarquino aumenta en 0.13 (11%), y en temporada seca en 0.22 (19.5%), mejorando la estabilidad de forma significativa. De igual forma las condiciones de estabilidad pseudoestáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Grass aumenta en 0.208 (20.6%), y en temporada seca en 0.139 (13.4%), mejorando la estabilidad de forma significativa.

Los resultados obtenidos también indican que con la aplicación del Rye Grass Ecotipo Cajamarquino como técnica de bioingeniería, la erosión en temporada de lluvia disminuye en 3.9 mm (3.8% humedad) y en temporada seca 2.3 mm (0.9% humedad).

La experiencia en la aplicación de la técnica de revegetación en la estabilidad de taludes ha demostrado una influencia positiva ya que ayuda evitar problemas de erosión y fallas subsuperficiales. Las plantas cumplen dos funciones principales. Primero, medimos el contenido de agua superficial y aseguramos la consistencia en toda la red mecánica de la raíz. La influencia de la vegetación en las condiciones de las laderas es que captura la lluvia, aumenta la capacidad de infiltración, elimina el agua del suelo y sus raíces fortalecen el suelo, aumentan la resistencia al corte y ayudan a anclar la superficie del suelo a capas más profundas. Además, puede retener partículas del suelo, haciéndolo menos susceptible a la erosión.

REFERENCIAS

- Álvarez, R. (2015). “*Biología Control de erosión y sedimentos*”. Recuperado de:
https://www.academia.edu/10880539/Biologia_Control_de_erosion_y_sedimentos
- Díaz, R. (2018). “*Técnicas de bioingeniería y biotecnología en taludes del cerro de La Picota - Huamanga – Ayacucho*”. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Hernández, T. y Guardado, R. (2014). “*Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel*”. Revista Minería y Geología. Vol. 30, núm. 4. Holguín, Cuba.
- Mays, N. (2017). “*Reducción de la erosión hídrica del suelo, con la utilización de la Vetiveria Zizanoide en la microcuenca de Tingoragra – Nauyan Rondos, Provincia de Huánuco 2017*”. Universidad de Huánuco.
- Matteis, A. (2003). “*Geología y Geotecnia: Estabilidad de taludes*”. Universidad Nacional De Rosario.

Murillo, W. (2008). *La investigación científica*. Consultado de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-científica/investcientífica.shtm>

López, A. (2020). “*Estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería en procesos erosivos en Colombia*”. Universidad Militar de Nueva Granada.

López, P. (2021). “*Efecto de la fertilización en la etapa de mantenimiento, sobre el rendimiento de forraje en dos cultivares del Rye Grass – Lolium perenne, en el cercado de Sapalache, distrito El Carmen de la frontera*”. Universidad Nacional de Piura.

Rodríguez, F. y Torres, C. (2012). “*Evaluación de la influencia de barreras protectoras productivas de pasto brasilero (Phalaris sp) para control de erosión en cultivos adyacentes en un Andisol del altiplano de pasto. Departamento de Nariño*”. Universidad de Nariño, Pasto.

Sánchez, J. (2019). “*Estabilización de taludes mediante la técnica de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver en zonas tropicales, año 2019*”. Universidad Continental. Lima, Perú

Suarez, J. (1998). “*Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*”. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia.

Suarez, J. (2000). “*Análisis Geotécnico*”. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2000. Vol. Tomo I. ISBN 958-33-2734-42.

Suarez, J. (2000). “*Técnicas de Remediación*”. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander”, 2000. Vol. Tomo II. ISBN.

Yoza, C. (2017). “*Diseño de estabilización biotécnica de talud con geomalla y especie vegetal en la quebrada de Ingapirca de la UNESUM*”. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de datos de campo

Fecha	Precipitación (mm)	Infiltración (mm)	% Humedad	% Índice de plasticidad

Anexo 2. Formato – Características y propiedades del Rye Grass

Propiedades del Vetiver		
Resistencia a la tensión (Mpa)	Diámetro de raíz (mm)	Resistencia suelo-raíz (Mpa)

Anexo 3. Formato – Factor de seguridad

Factor de seguridad de estabilidad del talud	
Factor de seguridad de estabilidad del talud	Condición de análisis de estabilidad.