

# Control of Water Erosion Through Revegetation on Surface Mine Slopes

Gilmer Chilón – Chuquimango, Br.<sup>1</sup>; Gladys S. Licapa-Redolfo, MsC.<sup>2</sup>; Gary Christiam Farfán Chilicaus, Mg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Minas, Universidad Privada Del Norte, Perú. [gcc.mec512@gmail.com](mailto:gcc.mec512@gmail.com)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Del Norte, Perú. [gladys.licapa@upn.edu.pe](mailto:gladys.licapa@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [gfarfanc@unitru.edu.pe](mailto:gfarfanc@unitru.edu.pe)

*Abstract– The purpose of this research work was to evaluate the technique of revegetation with Rye Grass for the control of water erosion of slopes in a surface mine located in Cajamarca. In the mining company there are constant problems due to landslides along with erosion on the slopes, which suffer from morphological changes of the soil continuously. Static stability conditions were determined in the rainy season with the application of the technique with Grass increases by 0.13 (11%), and in the dry season by 0.22 (19.5%), significantly improving stability. Similarly, the pseudostatic stability conditions in the rainy season with the application of the technique with Grass increase by 0.208 (20.6%), and in the dry season by 0.139 (13.4%), significantly improving stability. The results obtained also indicate that with the application of Grass as a bioengineering technique, erosion in the rainy season decreases by 3.9 mm (3.8% humidity) and in the dry season by 2.3 mm (0.9% humidity).*

**Keywords--** Revegetation, Grass, erosion, stability, slopes.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LEIRD).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LEIRD).

**DO NOT REMOVE**

# Control de la Erosión Hídrica Mediante la Revegetación en Taludes de Mina Superficial

Gilmer Chilón – Chuquimango, Br.<sup>1</sup>; Gladys S. Licapa-Redolfo, MsC.<sup>2</sup>; Gary Christiam Farfán Chilicaus, Mg<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Minas, Universidad Privada Del Norte, Perú. [gcc.mec512@gmail.com](mailto:gcc.mec512@gmail.com)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Privada Del Norte, Perú. [gladys.licapa@upn.edu.pe](mailto:gladys.licapa@upn.edu.pe)

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, [gfarfanc@unitru.edu.pe](mailto:gfarfanc@unitru.edu.pe)

**Resumen** –El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad evaluar la técnica de revegetación con Rye Grass para el control de la erosión hídrica de taludes en una mina superficial ubicada en Cajamarca. En la empresa minera 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 Grass 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 Grass 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).

**Palabras Clave**— Revegetación, Rye Grass, erosión, estabilidad, taludes.

## I. INTRODUCCIÓN

El constante incremento de la preocupación por el cuidado del medio ambiente ha facilitado que se permita realizar investigaciones para proporcionar soluciones de ingeniería respetuosas con el entorno [1]. Los aspectos más resaltantes que definen la configuración del flujo de suelo y rocas o de las aguas subterráneas, son la naturaleza de los materiales involucrados formación del talud, historia geológica, influencia del hombre y condiciones climáticas, influyen decisivamente en las condiciones que permiten a un talud ser estable [2].

En la actualidad en diferentes actividades de cierre de mina superficial 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 [2]. Debido a ello 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 presentando, dentro de las técnicas a emplear serían el uso de polímeros sellantes para control de la erosión, adicionando el uso de materiales geosintéticos de polietileno de alta densidad (HDPE) o de polipropileno, madera, rocas, los cuales se combinan con cultivos de especies vegetales diversas.

La erosión de suelos constituye uno de los problemas ambientales más importantes 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 [1]. La erosión hídrica es la causa más significativa de la degradación del suelo y de la generación de serios impactos ambientales, tal es así, es que se emplea la bioingeniería como una alternativa económica y eficaz para solucionar tal problemática [3]. Por tanto, se considera a la bioingeniería una disciplina constructiva para lograr objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando materiales biológicos como semillas y plantas en combinación con materiales inertes [4] y [5].

Del mismo modo las tecnologías de bioingeniería son más sostenibles a largo plazo, ya que la vegetación es capaz de regenerarse y es capaz de responder de forma dinámica y natural a condiciones cambiantes sin pérdidas sus propiedades ingenieriles [6] y [7]. Con el fin de revertir tal situación existen estudios que consideran que un método para controlar la erosión, son las barreras con franjas protectoras establecidas con pastos y plantas herbáceas, de tal manera que, su sistema radicular permita el amarre del suelo evitando así el desprendimiento del material [8].

Por otro lado, existen evidencias de aplicación de técnicas de bioingeniería que resuelven de manera rentable los problemas ambientales que surgen de las presas de relaves expuestas a los agentes del intemperismo. Empleando la

siembra de especies vegetales (*Casuarina equisetifolia*, *Vetiveria zizanioides*, *Cynodon dactylon*, *Panicum maximum* y *Digitaria decumbens* stent) de alto grado de disponibilidad y adaptables a las condiciones de la zona en estudio, con la finalidad de formar una cobertura vegetal que evite la erosión de los taludes. Los resultados muestran que la precipitación promedio durante el período húmedo representa el 63% de la precipitación anual, de los cuales noviembre es el mes con mayor precipitación acumulada, representando el 14% de la precipitación anual; el período seco explica el 36,9% de la precipitación anual, entre las cuales el mes más seco es marzo, que representa sólo el 6,1% del año. Se concluye que se puede lograr más del 95% de estabilidad utilizando esta tecnología para controlar la erosión de la superficie del suelo [3].

Además, la erosión depende en gran medida de las características 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 [9]. Por lo tanto, una de las soluciones efectivas a este problema es la restauración de la vegetación posteriores a la minería [10].

La estabilidad de un talud se refiere a la seguridad de un cuerpo de terreno frente a daños o movimientos, y la primera medida es definir los criterios de estabilidad de taludes para que se pueda conocer la pendiente correcta de un corte o terraplén. En el caso de taludes cortados, la superficie puede ser artificial, ya que se forma por excavación, por lo que es muy importante que la estructura del suelo no cambie, ya que antes de cortar el suelo conserva las mismas propiedades que se cortó, por otro lado. Por otro lado, después del relleno en taludes, la superficie también es artificial, pero para este tipo de taludes, la superficie debe tener una forma determinada según los requisitos de diseño y construcción, donde el suelo se encuentra en su estado natural [11].

Las especies vegetales a emplear en las técnicas de bioingeniería deben presentar algunas características como: Tipo y capacidad de la raíz, tasa de crecimiento, selección del suelo (textura y drenaje), selección del pH del suelo, tasa de introducción, capacidad invasiva, tolerancia a la sequía, tolerancia al sol y la sombra, tolerancia a las inundaciones, tolerancia a los asentamientos, tolerancia al viento, inflamabilidad y tolerancia al pisoteo [12].

El vetiver (*Vetiveria Zizanioides L.*) Es una especie de gramínea de origen asiático que suele utilizarse en países tropicales para controlar la erosión y reducir la posibilidad de

derrumbes en las laderas. Es una gramínea perenne con respecto de maleza que puede alcanzar una altura de 1,6 m, en condiciones óptimas su sistema radicular presenta numerosas columnas fibrosas que pueden alcanzar una profundidad de 4 a 5 metros [13].

La presente investigación contribuye 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. 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 investigación es una de las primeras aplicaciones de la bioingeniería en el departamento de Cajamarca.

## II. METODOLOGÍA

### A. Tipo de Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, pretende relacionar y medir la fuerza de asociación entre las variables técnicas de bioingeniería y erosión hídrica.

### B. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es no experimental, sin manipulación de variables de nivel aplicada ya que busca controlar problemas de erosión hídrica en taludes en proceso de cierre de minas.

### C. Población y Muestra

La población asumida para la investigación es todos los taludes en el frente de minado de 60 hectáreas.

La muestra asumida estuvo constituida por 38 hectáreas pertenecientes al talud ubicado en el banco 3045 el cual se muestra en la figura 1, para la selección de la muestra se empleó el muestreo aleatorio simple, a partir de la base de datos proporcionada por el área de geología de la unidad minera ubicada en el departamento de Cajamarca, Perú.

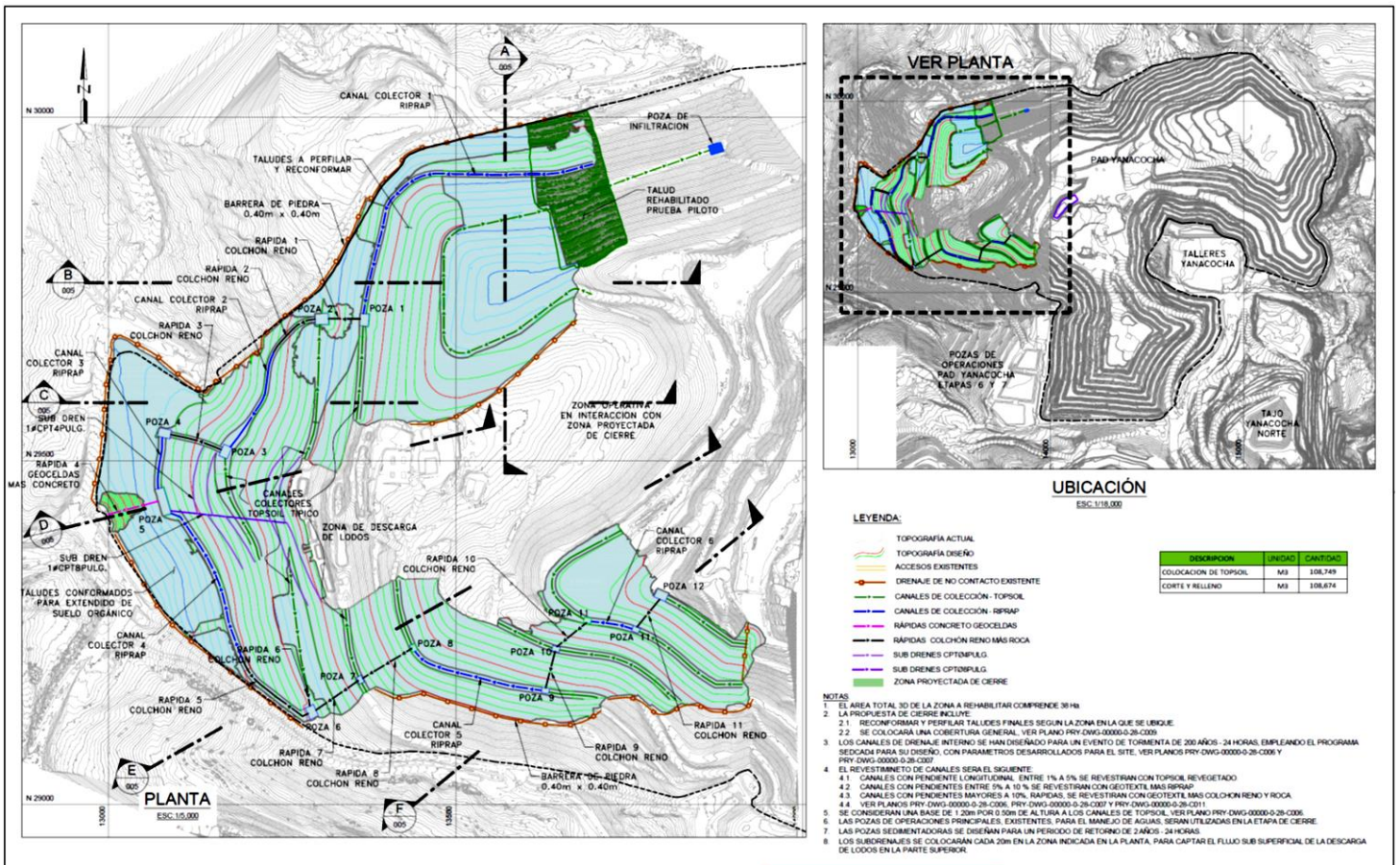


Fig. 1. Vista del área muestral

#### D. Procedimiento de Investigación

El procedimiento abarcó 3 etapas, inicialmente en la etapa de Pre campo, se recopiló la información pertinente en base a estudios relacionados al tema de investigación. La segunda etapa de campo; las especies de plantas fueron seleccionadas para la restauración en base a los resultados analíticos del monitoreo inicial [14]. Se determinan especies de plantas que crecen espontáneamente en áreas adyacentes o en hábitats similares; método de propagación de cada especie, plantación y estructura de semillas de cada especie; determina si la vegetación tiene las características deseadas: raíces, follaje, tolerancia a condiciones extremas, susceptibilidad, hábito de crecimiento, determinando la disponibilidad de material de siembra en el sitio de préstamo, lo que determina el número de plantas a desarrollar en el banco de propagación de plantas.

En la tercera y última etapa de “Gabinete” se procesó la información de los resultados obtenidos con la técnica de manera tabular y gráfica haciendo uso del programa Excel, y para la representación del plano del área se hará uso del software AutoCad.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Condiciones de estabilidad del talud sin revegetación

**Tabla 1**  
FACTOR DE SEGURIDAD DE ESTABILIDAD DE TALUD

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

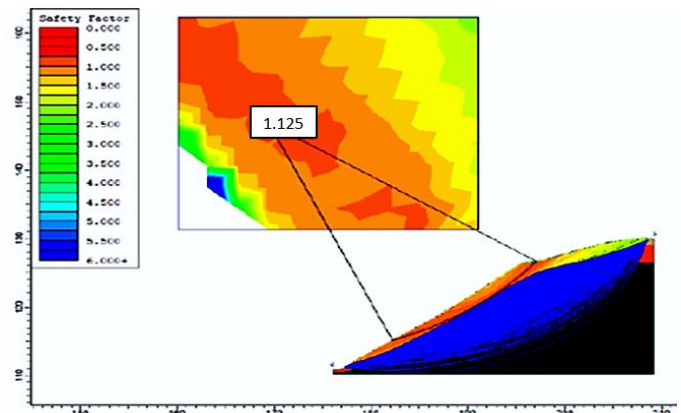


Fig. 2. Análisis estático del talud sin revegetación – temporada seca

En la tabla 1 se muestran las condiciones actuales de estabilidad física, por otro lado, en la figura 2, 3, 4 y 5 se puede visualizar que la pendiente es un poco inestable, por lo que necesita apoyo para estabilizarla, aumentar el factor de

seguridad y poder realizar el levantamiento adecuado y sus respectivos análisis en laboratorio para determinar el porcentaje de humedad, infiltración y el porcentaje de plasticidad que se muestran en la tabla 2 para temporada seca y la tabla 3 en la temporada de lluvia, para proceder con la revegetación.

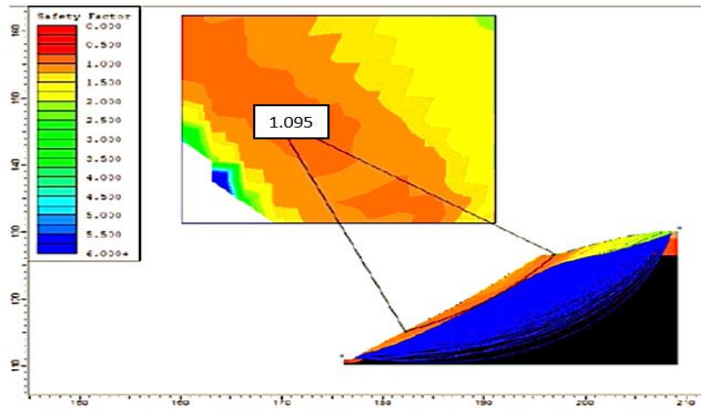


Fig. 3. Análisis estático del talud sin revegetación – temporada de lluvia

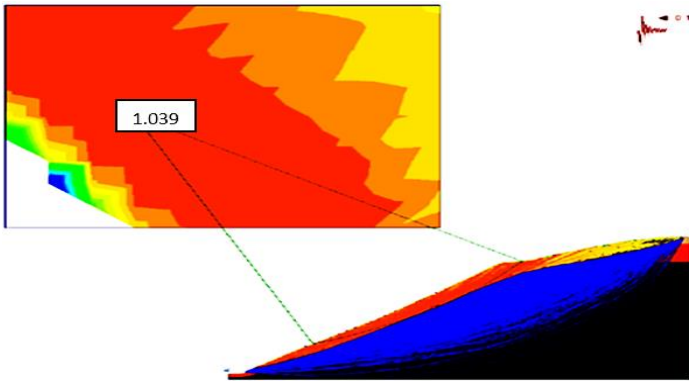


Fig. 4. Análisis pseudoestático del talud sin revegetación – temporada seca

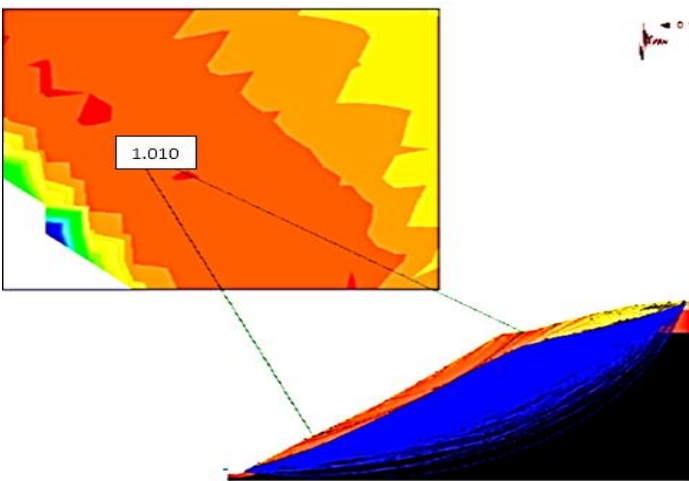


Fig. 5. Análisis pseudoestático del talud sin revegetación – temporada de lluvia

**Tabla 2**

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE TALUD SIN REVEGETACIÓN - TEMPORADA SECA

Precipitación (mm)/día	Infiltración (mm)/día	% Humedad	% Índice de 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%

**Tabla 3**

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE TALUD SIN REVEGETACIÓN – TEMPORADA DE LLUVIA

Precipitación (mm)/día	Infiltración (mm)/día	% Humedad	% Índice de 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%

#### B. Aplicación de la técnica de revegetación

La colocación de barreras antierosivas ayuda a reducir la velocidad de la escorrentía superficial de las lluvias y, por lo tanto, reduce la pérdida de suelo y, finalmente, considerando la forestación a través de la vegetación, tiene como objetivo reducir el potencial de movimiento y erosión del suelo superficial. Las actividades asociadas a esta actividad favorecen la formación de terrazas de formación lenta.

**Tabla 4**

CANTIDAD DE INSUMOS A UTILIZAR POR HECTÁREA

Insumos	Cantidad
Cal apagada	1000 Kg/ha
Gallinaza (Abono Orgánico)	1000 Kg/ha

Una vez asignadas las áreas a trabajar, se procedió en primer lugar a realizar el aireado de cada una de las parcelas con la finalidad de poder indicar la cantidad de insumos a utilizar que se muestra en la tabla 4.

De acuerdo a las características de suelo en primer lugar se ejecutó trabajos de enmienda con la utilización de cal a las diversas áreas asignadas para siembra final como temporal en diferentes lugares del sector asignado para la investigación, razón por la cual las dos primeras semanas se ejecuta actividades de encalado posterior aplicación de fertilizantes y semillas para la siembra como se muestra en la tabla 5 y 6.

**Tabla 5**  
FERTILIZANTES QUÍMICOS A UTILIZAR POR HECTÁREA

P. Químicos	Cantidad
Urea (NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub> )	100 Kg/ha
Superfosfato Triple de calcio	100 Kg/ha

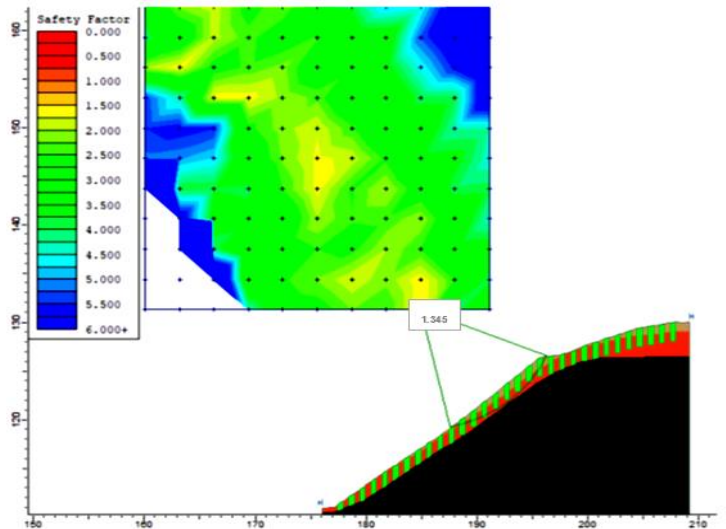
Las consideraciones al aplicar la técnica de revegetación: se debe tener el área 100 % reclamada o con top soil, se esparce los insumos en forma uniforme (tabla 4) 1000Kg/ha de cada uno, mínimo 20 días antes de ejecutar la siembra, se retira la semilla del almacén de acuerdo a las cantidades aprobadas por el área de medio ambiente de la empresa minera (tabla 6), teniendo especial cuidado que las plantas cuenten con top soil, al momento de sembrar se ejecutó el apretado respectivo con la finalidad de tener un buen contacto de la raíz con el suelo definitivo, también se ha tenido en cuenta que cada golpe o planta sea en manajo que pueda ser cogido sin dificultad con la mano, se ha seguido todos estos pasos con la finalidad de conseguir un buen prendimiento de las plantas.

**Tabla 6**

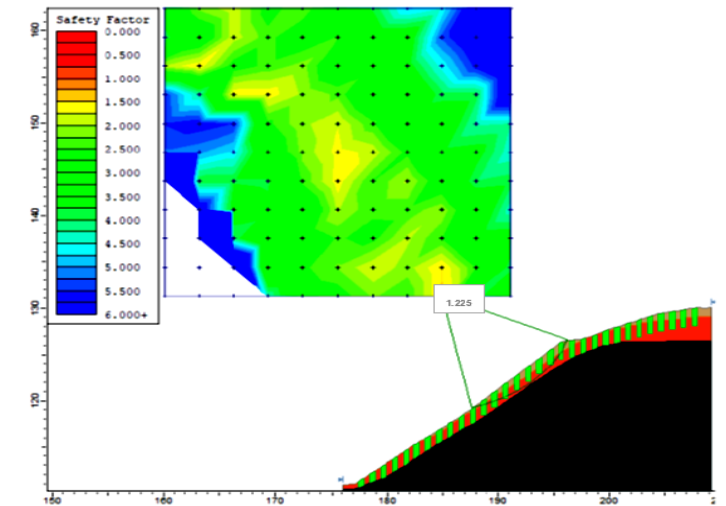
SEMILLA DE PASTOS MEJORADOS DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE SEMILLA/HA
<i>Rye Grass ecotipo</i>	5 Kg/ha
<i>Cajamarquino</i>	
<i>Dactyles glomerata potomac</i>	5 Kg/ha
<i>Trifolium Queñiqueli</i>	2 Kg/ha
<i>Avena Strigosa</i>	10 Kg/ha
<i>Rye grass Boxer</i>	2 Kg/ha
<i>Dactyles glomerata Amba</i>	3 Kg/ha
<i>Trifolium pra tense</i>	2 Kg/ha
<i>Trifolium repens</i>	2 Kg/ha
<i>Rumex acetoclla</i>	4.5 Kg/ha
<i>Lupinos sp</i>	2 Kg/ha
<i>Nicotiana</i>	1 Kg/ha
<i>Rumex crispus</i>	4.5 Kg/ha
<i>Festuca faw</i>	5 Kg/ha
<b>Total de semilla / ha.</b>	<b>48 g/ha</b>

**C. Influencia de la técnica de revegetación en estabilidad del talud**

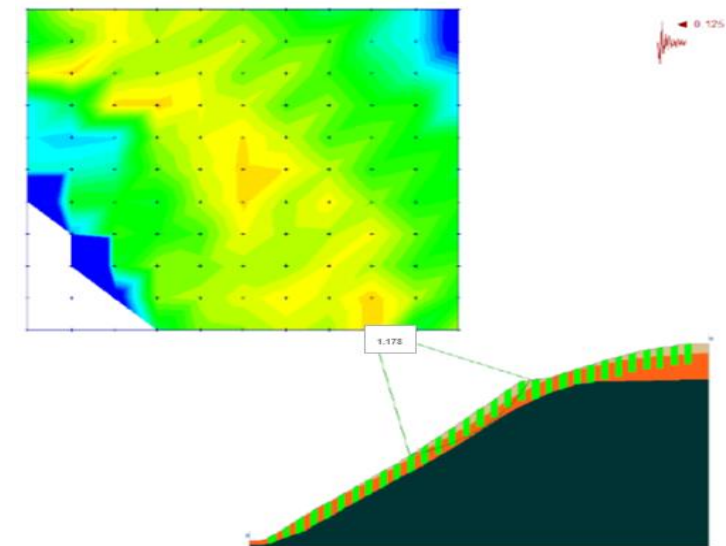
En las figuras 6 y 7 se muestran los resultados del análisis de estabilidad realizados con el software Slide donde se muestran los aumentos en los factores de seguridad para el análisis estático del talud sin revegetación en temporada seca con resultado de 1.125 y con revegetación se obtiene un resultado de 1.345. Asimismo en la temporada de lluvia tenemos resultados 1.095 sin revegetación y con revegetación 1.225 los mismos que se observan en la figura 10.



**Fig. 6.** Análisis estático del talud con revegetación – temporada seca

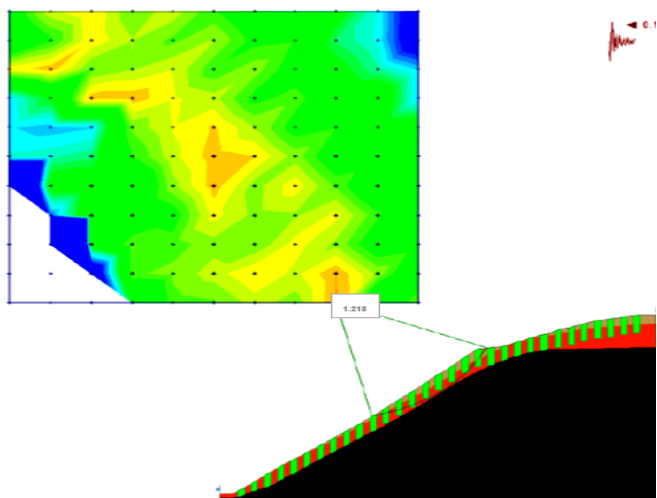


**Fig. 7.** Análisis estático del talud con revegetación – temporada de lluvia



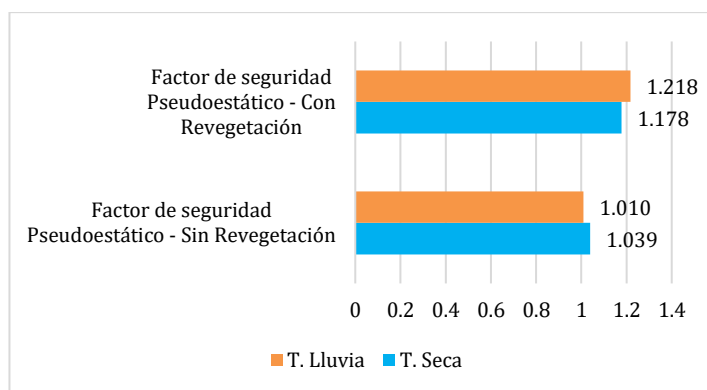
**Fig. 8.** Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada seca

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados del análisis de estabilidad realizados con el software Slide donde se muestran los aumentos en los factores de seguridad para el análisis pseudoestático del talud sin revegetación en temporada seca con resultado de 1.039 y con revegetación se obtiene un resultado de 1.178. Asimismo en la temporada de lluvia tenemos resultados 1.010 sin revegetación y con revegetación 1.218 los mismos que se observan en la figura 11.

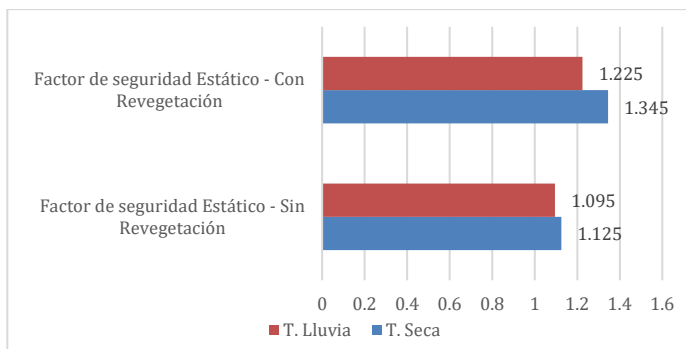


**Fig. 9.** Análisis pseudoestático del talud con revegetación – temporada de lluvia

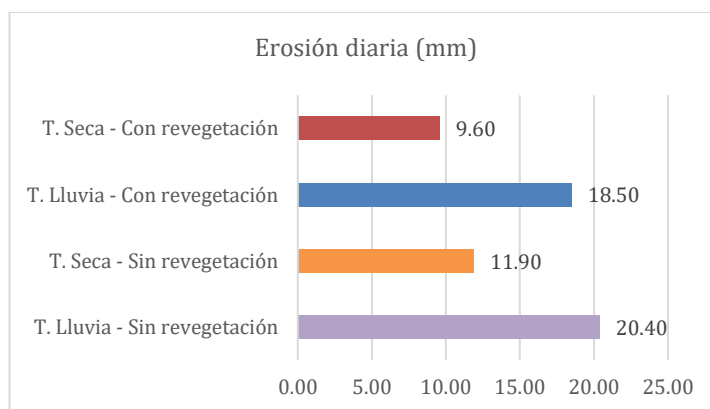
aparente cohesión de la raíz, aumentando el factor de seguridad se proporciona mejor estabilidad de taludes en el área de estudio de Pillory Mountain [2]. Se concluye que los árboles pueden reducir significativamente la ocurrencia de deslizamientos profundos o superficiales, principalmente por el papel de las raíces como sistema de refuerzo, y su presencia tiende a reducir los efectos erosivos del viento y la lluvia. El control de la erosión y la infiltración de agua debido a las precipitaciones máximas se evita mediante el uso de georedes y la plantación de serbales nativos o ichu (en el área local).



**Fig. 11.** Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad pseudoestáticas



**Fig. 10.** Análisis comparativo de las condiciones de estabilidad estáticas



**Fig. 12.** Análisis comparativo de erosión diaria (mm)

Los resultados encontrados indican que las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica con Rye Grass aumenta en 0.13 (11%), y en temporada seca en 0.22 (19.5%), mejorando la estabilidad de forma significativa (fig. 10). De igual forma la figura 11 indica 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. Estos valores encontrados permiten realizar una comparación directa con los hallazgos de resultados numéricos del promedio de los diferentes métodos de factor de seguridad, el resultado es 0,970 en condiciones saturadas y 1,325 cuando hay una

Los resultados de la figura 12, obtenidos también indican que con la aplicación del Grass 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 del mayor volumen de suelo erosionado superficialmente producto de las precipitaciones es la Microparcela 03 – (Sin Plantaciones) con 11.68 (Ton/Ha/Periodo de lluvia), la Microparcela 02 – (Plantación de Plantas Nativas) con 8.2 (Ton/Ha/Periodo de lluvia), y por último la Microparcela 01 – (Plantación de *Vetiveria Zizanoide*) con 4.59 (Ton/Ha/Periodo de lluvia) [15]. Los resultados de la erosión mensual indican que con la cobertura *Vetiveria Zizanoide* se obtuvo en promedio una erosión diaria de 8.8 mm y sin plantaciones de 10.6 mm. Concluyendo de esta manera la disminución del suelo erosionado por precipitación, sembrando la *Vetiveria Zizanoide* dentro de la microparcela con las varillas de

erosión. Al comparar los resultados se destaca que la planta *Vetiveria Zizanoides* es más efectiva en el control de la erosión.

#### IV. CONCLUSIONES

Se determinó las condiciones de estabilidad estáticas en temporada de lluvia con la aplicación de la técnica de Rye Grass que 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. También se concluye que la aplicación del Rye Grass como técnica de bioingeniería para la erosión en temporada de lluvia disminuye en 3.9 mm (3.8% humedad) y en temporada seca 2.3 mm (0.9% humedad).

#### V. REFERENCIAS

- [1] J. N. Sánchez Pillpa, «Estabilización de taludes mediante la técnica de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver en zonas tropicales, año 2019», 2019.
- [2] R. Diaz Meza, «Técnicas de bioingeniería y biotecnología en taludes del cerro de La Picota - Huamanga - Ayacucho», 2018. Accedido: 26 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2778>
- [3] T. Hernández - Columbié y R. Guardado - Lacaba, «Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel», *Minería y Geología*, vol. 30, n.º 4, pp. 54-69, 2014, Accedido: 26 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223533734004.pdf>
- [4] A. Calvo, «Técnicas de Bioingeniería para mejorar el estado ecológico y estabilizar márgenes de ríos», 30 de diciembre de 2016.
- [5] A. López Clavijo, «Estado del Conocimiento Sobre el Uso de la Bioingeniería en Procesos Erosivos en Colombia», Universidad Militar de Nueva Granada, 2020. Accedido: 27 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/35742/LopezClavijoAlbeiro2020.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] L. Ladino, Y. Salcedo, y J. Pérez, «Desarrollo Sostenible en Taludes y Muros de Carga Aplicando Bioingeniería», 2022, Accedido: 27 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/50174/2023ladinosalcedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] S. Montico y N. Di Leo, «Evaluación de perfiles culturales en ambientes degradados por erosión hídrica», *Ciencia, Docencia y Tecnología*, vol. 26, n.º 51, pp. 394-403, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14542676017>
- [8] V. Alvarado-García y M. A. Zúñiga-Amador, «Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica, San José, Costa Rica», *La Calera*, vol. 18, n.º 30, pp. 39-47, jun. 2018, doi: 10.5377/calera.v18i30.7738.
- [9] M. Balaguer Puig, «Análisis Empírico de Soluciones Fotogramétricas en Estudios de Erosión Hídrica en Laboratorio», Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Accedido: 26 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58989/Balaguer>
- [10] J. Rodríguez-Aparicio y P. A. Vergara-Buitrago, «Análisis ambiental de la minería de carbón en el ecosistema estratégico de páramo (Boyacá, Colombia)», *Ciencias Ambientales*, vol. 26, n.º 3, pp. 398-405, 2021.
- [11] D. P. Sacachipana Pacombia y P. R. Yerba Condori, «Estudio geotécnico para el diseño y estabilidad del botadero de desmonte en el distrito de Chala provincia de Caravelí - Región Arequipa», Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, 2021. Accedido: 27 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5323/D.Sacachipana\\_P.Yerva\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5323/D.Sacachipana_P.Yerva_Tesis_Titulo_Profesional_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [12] J. Suárez Díaz, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. 2006.
- [13] J. Suárez Díaz, *Técnicas de Remediación*, vol. II. 2000.
- [14] O. Vargas Ríos, «Los Pasos Fundamentales en la Restauración Ecológica», Universidad Nacional de Colombia, Ed., Bogotá, 2011, pp. 19-40.
- [15] N. C. Mays Arratea, «Reducción de la erosión hídrica del suelo, con la utilización de la *Vetiveria Zizanioides* en la Microcuenca de Tingoragra – Nauyan Rondos, Provincia de Huánuco 2017», Universidad de Huánuco, 2018. Accedido: 27 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/1434;jsessionid=1769B4862D965CF3BAB6F5C07969BB57>