

Bioingeniería de taludes con árboles para disminuir deslizamientos: caso Betétiva, Boyacá, Colombia

Bioengineering of slopes with trees to reduce landslides: Betétiva case, Boyacá, Colombia

Néstor Perico-Granados^{1*}, Carolina Tovar-Torres¹, Evelyn Medina-Naranjo¹, Pedro Acosta-Castellanos², Néstor Perico-Martínez³

¹Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO, Colombia

²Universidad Santo Tomás, Colombia

³Universidad Javeriana, Colombia

Fecha de recepción: 6 de agosto de 2024. **Fecha de aceptación:** 20 de octubre de 2024.

***Autor de correspondencia:** nestorrafaelpericogranados@gmail.com

Resumen. El propósito de la investigación fue observar los efectos que genera la siembra de eucaliptos en un talud natural para disminuir o eliminar los deslizamientos del terreno. El problema estudiado son los procesos severos de erosión y deslizamientos, tanto por la explotación continua de monocultivos, sin tecnología, como por las explotaciones de carbón. Se desarrolló una investigación acción, con seguimiento por cerca de doce años, en el municipio de Betétiva, Boyacá, Colombia. Se sembraron siete mil arbolitos en el primer año y se hizo seguimiento para ver resultados. Se utilizó el método mixto para medir cantidades y se tomaron entrevistas a profundidad, para conocer la opinión de quienes observaron el proceso, sobre las ventajas de usar estos árboles para evitar los deslizamientos y mejorar la estabilidad del terreno. Se encontró que los eucaliptos crecen en unos casos hasta treinta y cinco y cuarenta metros, con diámetros de hasta dos metros. Su raíz principal puede llegar a los veinte metros y su consumo de agua es muy alto. Entonces, para recuperar terrenos erosionados, bajar el nivel freático y detener deslizamientos los eucaliptos son árboles apropiados. Sin embargo, es recomendable hacer reforestaciones con árboles nativos, frutales y exóticos como el eucalipto para quitar presión a los primeros de acuerdo al terreno y al medio.

Palabras clave. Deslizamiento de tierra, erosión del suelo, eucalipto, nivel freático, servicios ambientales.

Abstract. The purpose of the research was to observe the effects generated by planting eucalyptus trees on a natural slope, to reduce or eliminate partial terrain. The problem studied is the severe and reduced erosion processes, both due to the continuous exploitation of monocultures, without technology, and due to coal exploitation. An investigation was carried out, with follow-up for nearly ten years, in the municipality of Betétiva, Boyacá, Colombia. Seven thousand trees were planted in the first year and monitoring was done to see results. The mixed method was used to measure quantities, and in-depth interviews were taken to obtain the opinion of those who observed the process about the advantages of using these trees to avoid gradual erosion and improve the stability of the land. It was found that eucalyptus trees grow in some cases up to thirty-five and forty meters, with diameters of up to two meters. Its main root can reach twenty meters, and its water consumption is very high. So, to recover eroded land, lower the water table and gradually stop eucalyptus trees are appropriate. However, it is advisable to reforest with native, fruit and exotic trees such as eucalyptus to take pressure off the former according to the terrain and environment.

Keywords. Landslides, soil erosion, eucalypto, water level, environmental services.

1. Introducción

En el siglo pasado, en el municipio de Betétiva, Boyacá, Colombia, se hizo una explotación agrícola extenuante en terrenos a media ladera, que con facilidad se erosionaron. Sobre 1950 tenía la población tres molinos de piedra, para moler granos, especialmente trigo y cebada, de manera permanente y hoy no funciona uno solo por falta de materia prima [1]. Hoy es necesario llevar los granos y las harinas de otras ciudades. En esa misma década se comenzó la explotación de carbón en Acerías Paz del Río y otras minas en la región como Corrales, Tasco, Gámeza y años más tarde en el mismo municipio. Entonces, se desvió la atención a estas actividades productivas y se descuidó la tecnificación y sostenimiento del sector rural, como sí lo hicieron en el eje cafetero [2].

Por ende, se dejaron las tierras desnudas y la erosión se acentuó mucho más y en los terrenos sin árboles, con altos procesos de meteorización, comenzaron a presentarse pequeños deslizamientos en distintas veredas y cerca al centro poblado. Al respecto, se decidió ayudar a resolver estos problemas con la siembra de eucaliptos, dado que en la región se conocía para diferentes usos. Por otro lado, para mitigar el cambio climático y para garantizar la seguridad alimentaria hay necesidad de estabilizar los suelos, disminuir la erosión y los diferentes procesos de meteorización por el sol, el agua y el viento. En este sentido, los árboles y los arbustos contribuyen a la cohesión del suelo a partir de la resistencia que producen las raíces de forma proporcional a sus dimensiones y a la cantidad de ellas, a la vez disminuyen las posibilidades de inundaciones [3], [4], [5]. Estas alternativas cuestan menos que los sistemas de estabilización convencionales con concreto y piedra. Para [6] se han encontrado resultados con más del noventa y cinco por ciento de estabilidad del terreno y control de la erosión en presas y a la vez una supervivencia de las plantas superior al noventa por ciento, en varios casos en que se ha hecho control con árboles de la región.

Según [2] en el periodo 1970-1999 hubo cerca de treinta mil fallecidos en el mundo y en el 2003 en Colombia cerca de seis mil se vieron afectadas por deslizamientos y avalanchas y en unas de ellas por la minería. Entre el año 2010 y 2011 en Colombia, por la intensidad de las lluvias, hubo quinientos muertos y para recuperar parte de los daños se invirtieron veintiocho billones de pesos colombianos. Para [7] y [8] los fallecimientos, daños materiales y ambientales van en aumento con el transcurrir del tiempo, dado que los gobiernos no han invertido recursos en su prevención. Se invierte dinero en

esencia para superar las tragedias, pero no para desarrollar proyectos que las eviten.

De acuerdo con [3] y [7] los deslizamientos tienen como causa principal la deforestación, dado que cuando se cambia el uso para praderas o cultivos, las raíces de los árboles se pudren. Las de aquellos apenas llegan en el mejor de los casos a una profundidad de treinta centímetros en su enraizamiento. Igualmente, entre mayor cantidad de raíces por unidad de volumen existan, entonces hay mayor capacidad de retención del suelo. De esta manera, la cantidad de árboles que hay que sembrar debe obedecer a este indicador y a la vez se debe evitar que exista competencia entre ellos para que se profundicen y crezcan apropiadamente. Para [3] y [7] los tratamientos biológicos son la primera opción, si las circunstancias lo permiten, para la conservación de los suelos a media ladera y para evitar y disminuir las opciones de deslizamientos. Además de efectivos, por su bajo costo, se recomiendan los árboles, dado que incrementan de forma sustancial la cohesión de los suelos porque actúan como elementos estructurales y ellos no inciden negativamente por su peso en posibles movimientos masales.

Por otro lado, la minería genera empleo, recursos económicos, pero a la vez es una actividad que ocasiona daños irreversibles al ambiente [6]. Igualmente, [9] plantea que la minería especialmente la del carbón no promueve el desarrollo, distinto de la obtención de unos recursos para pocas personas intermediarias y dueñas de minas. Entonces, dadas las circunstancias de estos males que producen al suelo, al agua y al aire se necesitan soluciones que permitan mitigar esos efectos dañinos, así sea parcialmente, en lo posible con propuestas amigables con la biodiversidad. Al respecto, [2] propone el uso de la bioingeniería, a partir de la siembra de árboles de rápido crecimiento para la regulación natural del agua, estabilización de los suelos, disminución de la erosión e incremento de la resistencia al corte. Para [10] es indispensable cuidar los terrenos de la erosión y de los posibles deslizamientos que perjudiquen las viviendas y las concentraciones escolares.

2. Materiales y métodos

El método usado fue mixto, dado que se trabajó en lo cuantitativo con cifras, datos y estadísticas y a la vez cualitativo. Se siguió lo propuesto por [11] sobre las actividades que se deben llevar a cabo para proyectos de investigación relacionadas con ingeniería. En este sentido, se hicieron entrevistas a profundidad a conocedores del proceso en el municipio, se llevó un diario de campo y se trabajó con

rejilla de observación. Se trabajó en una extensión de cuatro hectáreas, en el predio denominado “El Volcán”, con pendiente promedio de 50 grados, totalmente deforestada en un principio, con alto grado de erosión y prácticamente sin nutrientes. El suelo estaba compuesto por arcillas, areniscas y limos. En la visita de exploración en la parte baja del predio se observó el nivel freático de forma superficial. Al respecto, en la cresta de la loma a lo largo de cerca de tres mil quinientos metros y un ancho promedio de cinco existe un afloramiento de areniscas que permiten la infiltración de las aguas lluvias. El acuífero lleva el líquido a varios ojos de agua como: Busbenté, El Caliche, El Aliso y Los Tanques, entre otros. En el sitio del estudio existía uno de ellos con poco caudal, dada la reforestación con eucaliptos que existen en el sector de Ciscas, distante cerca de cuatrocientos metros, en un sector de la cresta.

En el predio como en la casi totalidad de los del municipio en el siglo pasado se llevó a cabo un proceso de deforestación para obtención de leña principalmente y en sus fincas de desarrollaron laboreos extenuantes de la tierra, que con el tiempo dejaron los predios agotados y sin nutrientes, con alta erosión antrópica y expuestos a la meteorización natural generada por el viento y el agua. Hasta hace cerca de sesenta años se producían en esas fincas muchas cosechas de cebada, trigo, maíz y por la degradación de sus tierras quedaron a la intemperie, sin protección, y por eso se han ido erosionando paulatinamente y se han producido deslizamientos [12] y [13].

En las figuras 1, 2 y 3 se observan lotes adyacentes muy similares al predio en estudio, antes de la siembra de los eucaliptos, aunque con menos pendiente éstos, con deslizamientos en proceso y a los cuales aún no se les ha sembrado ningún árbol para disminuir los derrumbes.



Figura 1. Lote en proceso de deslizamiento 1.



Figura 2. Lote en proceso de deslizamiento 2.



Figura 3. Casalote con riesgo de deslizamiento.

Por la parte superior del predio en estudio pasa una vía carretable que fue necesario desviar cerca de quince metros, en una longitud de ciento veinte, para permitir el paso de vehículos de forma continua, cuando comenzaron los primeros efectos del derrumbe y afectó la carretera (figura 4). Los procesos erosivos y los deslizamientos producen pérdidas de suelo, de biodiversidad y en ocasiones como en esta, daños a la infraestructura, con las consecuencias que de allí se derivan como la incomunicación [2].



Figura 4. Desvío de la vía por deslizamiento.

De acuerdo con [14] es siempre mejor reforestar con árboles nativos dado que aportan más a los servicios ambientales y a la biodiversidad, especialmente en terrenos de buena calidad. Sin embargo, porque se requería especies de rápido crecimiento y con alto consumo de agua, para frenar el deslizamiento y disminuir la erosión, se seleccionaron para sembrar en el predio eucaliptos, por las características descritas. Igualmente, [15], recomendó recuperar los suelos, en la cuenca de la quebrada de Otengá, a la que pertenecen estos predios, y reforestar con árboles nativos, frutales y exóticos, especialmente en sitios erosionados y con alta posibilidad de remoción en masa.

Al respecto, las plántulas que se llevaron tuvieron de cinco a ocho centímetros de altura, trasladadas al terreno en su respectiva bolsa. Se hizo el ahoyado cada dos con cincuenta metros en forma de “tres-bolillo”, para disminuir las posibilidades de carcamiento. Se hizo con bolillos de esta dimensión y se midió en todas las direcciones para que esa fuera la distancia entre todos y cada uno de los árboles. La siembra se llevó a cabo en los meses de abril y mayo, del primer año del estudio. En los meses descritos se presenta la mayor precipitación en la región y así se disminuye la posibilidad de arbolitos muertos. Durante el primer año hubo una mortalidad de cerca del veinte por ciento, y se hizo una resiembra en el siguiente año en los mismos meses. Al respecto, los eucaliptos tienen la posibilidad de crecer en áreas erosionadas y con pocos nutrientes [16].

Se usó abono triple quince y boro, por recomendación de dos expertos con base en el estudio de suelos, y se dispuso de manera que se evitó su contacto con las raíces y así disminuir opciones de mortalidad. A los siete años se hizo un primer corte de los árboles para usos varios y se hizo un proceso para deshijar y dejar solamente tres nuevos hijos para que vuelvan

a crecer de forma consistente los nuevos tallos. La carretera se volvió a construir en su trazado original porque el terreno ya se encontró estable, con un nivel freático muy bajo y con las raíces de los árboles formando un tablestacado que evitan que se siga deslizando. En el decimosegundo año se volvió a hacer un corte y se espera que las raíces de los eucaliptos estén cada vez más profundas, gruesas y fuertes, dado que el terreno está totalmente estable.

Se entrevistó a profundidad a 8 personas, en un caso con cuatro de ellas cercanas entre sí, en entrevista grupal, de a dos a la vez, y los otros de forma individual. Todos ellos conocieron el terreno original, vieron el proceso de siembra y de crecimiento de los árboles y hoy observan los cambios en el terreno, en el bosque y en el sotobosque y especialmente valoran la transformación del sitio original del deslizamiento. Sin embargo, reconocen que, aunque han existido personas que promueven la reforestación en la población, los habitantes perciben sus rendimientos y sus frutos como influencia en el clima, muy lejanos y por estas razones poco hacen al respecto. En este sentido, [17], [18], [19] y [20], plantean que lamentablemente las personas ven el cambio climático como fenómenos distantes que no tienen relación con ellos, pero los autores proponen que es urgente generar procesos para la adaptación al calentamiento global, porque así se tomen medidas extremas hoy, ya hay daños que hay necesidad de reparar.

3. Resultados y discusión

A los tres años de la siembra el deslizamiento ya se encontró estabilizado y el nivel freático desapareció de la superficie del terreno. Este fenómeno se presenta por el mayor consumo de agua, dado el mayor crecimiento de los eucaliptos comparado con otros árboles [21]. Al mismo tiempo consume más CO₂, aporta más oxígeno a la atmósfera, consume más cantidad de carbono, que fija en el tallo y en el suelo, y lleva a cabo mayor evapotranspiración para la formación de nubes. Igualmente, entre los árboles ha crecido un sotobosque de Hayuelos y otros arbustos que hacen que el suelo se recupere parcialmente, con el humus que se forma con las hojas secas que de ellos se desprenden. Así han aparecido diferentes pajas y guavas como sotobosque, plantas que cuando se comenzó a sembrar los árboles no existían. Nacieron y se han protegido por los mismos eucaliptos. En el conteo hecho por transectos en las cuatro hectáreas existen en 2024 seis mil árboles de eucalipto, contados por sus troncos, dado que cada uno de ellos tiene en promedio tres nuevos hijos (figura 5).



Figura 5. Terreno estabilizado por los árboles.

Por el proceso del deslizamiento hubo un movimiento de terreno de cerca de seis mil metros cúbicos en el comienzo, en un ancho de cien metros, por tres metros de profundidad y veinte de longitud. Así se movió el terreno cerca de veinte metros en los tres primeros años, pero dado que los árboles ya estaban enraizando se estabilizó paulatinamente el terreno. En el primer corte hubo un promedio de altura de los árboles de 16,5 m., con un promedio de diámetro en la parte más gruesa de 14 centímetros. En el segundo corte la altura llegó al promedio de 21,5 m y el ancho del que salieron los tres hijos fue 31 centímetros, medidos con decámetro. Se hizo la clasificación con la propuesta de [22] para los árboles y se precisó para los eucaliptos, que prestan muchos servicios ecosistémicos.

Al respecto, se encontró que los eucaliptos como proveedores han servido en el proceso de la presente investigación para suministrar postes para alumbrado, postes de minería para túneles en la explotación del carbón, refuerzos y/o palancas en los túneles; elementos para construcción como parales, columnas, vigas, correas, cimbras, tabla burra para distintos usos y carpintería de puertas, ventanas y escaleras, mangos para herramientas, y especialmente muchos elementos para leña, entre otros usos. Según [23], en Colombia existe un rendimiento de veinticinco metros cúbicos por cada hectárea de estos árboles en un año, valor cercano a la media mundial. Sin embargo, por la alta erosión del predio el rendimiento fue un poco menor que la media nacional. Este aspecto de la meteorización lo mitigan con mucha efectividad los eucaliptos, además de los rendimientos con la madera [21]. De todas maneras, en los dos cortes ejecutados se utilizaron los productos principalmente para estos elementos descritos [12] [24] [25] [26] [13].

En este sentido, en el mundo cerca del sesenta por ciento de la madera que se usa es de eucalipto para estos menesteres. En muchos casos es conveniente hacer procesos de tratamiento para inmunizar los productos y así aumentar su durabilidad. Al respecto, se incrementa cada día la siembra de eucaliptos, que sobrepasan los trece millones de hectáreas en el mundo, cada año, en la segunda década del siglo XXI. En el año 2006 fue entre dos a tres millones cada año [21]. Se conocen entre seiscientos y setecientos especies y de ellas la más destacada en el globulus. Solamente en Brasil hay más de siete millones de has., sembradas con eucalipto y es el país mayor productor del mundo de este tipo de árboles.

El eucalipto como otros árboles exóticos permite disminuir la presión a los bosques naturales, especialmente por la alta demanda que seguirá creciendo mientras no exista una población estacionaria [14]. La demanda en la década anterior fue superior a 3500 millones de m³ por año, cantidad que es seis veces más que a mediados del siglo pasado, con las consecuencias dañinas para la biodiversidad que estos aspectos conllevan [14]. Sin embargo, estos árboles también se usan con menos frecuencia, aspecto que en el estudio no se ha dado, para fabricar tablestacados, tapias para elaborar tapias pisadas, fabricación de laminados, proceso para fibra de papel, y para extracción de componentes medicinales.

El eucalipto como regulador aporta en la parte climática como estabilizador de la temperatura, genera producción de oxígeno, a la vez que actúa como sumidero de carbono y hace compatible la producción con la sostenibilidad y mitigación del cambio climático [27]. Al respecto, el gas carbónico pasó de 280 partes por millón en los comienzos de la revolución industrial a más de cuatrocientas diez ppm finalizando la segunda década del siglo XXI [28]. En el Amazonas en los comienzos del siglo XXI había cerca de 47 millones de animales vacunos y finalizando la segunda década se había duplicado esta población, con el daño por la deforestación para la ganadería que ello conlleva [29]. Sin embargo, con las reforestaciones cada uno de estos eucaliptos absorbe más de ciento cincuenta kilogramos de dióxido de carbono por año [28]. Entonces, se requiere mayor cantidad de árboles de rápido crecimiento para adaptar la fauna y la flora y especialmente la especie humana, por los efectos del calentamiento global y de las deforestaciones en los bosques naturales.

Igualmente, los eucaliptos protegen la tierra para evitar la erosión por el impacto de la lluvia y paralelamente sostiene la tierra con sus raíces. Por su alto consumo de agua baja el nivel freático y con ello disminuyen las posibilidades de deslizamientos [23] [14] [30]. Así mismo, contribuye al crecimiento de sotobosque y en su conjunto ayuda al ciclo vital del agua, por la evapotranspiración que genera. Aunque

comparado con los bosques nativos, que favorecen más las especies de hierbas y de aves, las plantaciones de eucalipto además de aportar los beneficios descritos también ayudan al abrigo de aves y de otras especies de arbustos [31].

En la figura 6 se observa la estabilidad del terreno y otros efectos positivos generados por ellos en el sitio de investigación. También ayuda al control biológico y a la polinización por las flores que produce. El eucalipto como prestador de servicios de soporte ayuda al sostenimiento y fomento del hábitat de diferentes especies, ayuda a la producción de miel, a la diversidad genética y contribuye a la fabricación de medicamentos [23] [22].



Figura 6. Terreno estable por efecto de árboles.

De otro lado, como en todas las plantaciones existe la posibilidad de incendios forestales y cuando estos se producen la recuperación y regeneración de las plantaciones en los compuestos por eucaliptos es mucho más rápida [32]. Igualmente, la interceptación de los flujos de agua es mayor y también su infiltración que en otro tipo de plantaciones, hasta en un 65% [32]. Sin embargo, en estos casos se requiere evaluar la implementación de acciones de impacto inmediato, una vez se produjo la ignición, como suspender el pastoreo y facilitar los flujos del agua para evitar mayor cantidad de arrastre de sólidos. De forma inmediata se necesita iniciar las acciones de rehabilitación y consolidación de la plantación [32].

El eucalipto se sostiene con la raíz principal que puede tener entre veinte y veinticinco metros de longitud, en promedio en edad adulta. Sin embargo, [33] han encontrado que los árboles con las raíces secundarias, mucho más delgadas son las que sostienen el terreno y le ofrecen estabilidad, por la cantidad de ellas y por la telaraña que forman, como las de

estos árboles. De otro lado, la ley de la cosecha que plantea [34] es el proceso que requiere cualquier actividad para dar sus frutos, a través del tiempo, dedicación y cuidados. En este sentido [2] expresan que la biodiversidad, el agua y el suelo son recursos que requieren cuidado con alta responsabilidad para hoy y para mañana, evitar la erosión y promover su estabilidad y recuperación con procesos sostenidos. Para ello se necesita comenzar hoy para obtener resultados con esfuerzo, dedicación para esta y las siguientes generaciones.

En la figura 7 se observa los árboles luego de un corte de hace tres años y están en proceso de deshijar. En ellas se observa el terreno totalmente estable, el sotobosque compuesto por Hayuelos y guavas, plantas que contribuyen a la formación de suelo y humus, con los arbustos. Sin embargo, la actividad de recuperación de suelos para evitar que los deslizamientos sigan avanzando y disminuir la posibilidad de tragedias futuras, en este municipio y en otros sectores susceptibles de deslizamientos, por minería del carbón o por otro origen, es una invitación a las autoridades municipales, departamentales y nacionales para prever que estos episodios se presenten. Al respecto, aquí se observaron procesos en solo una muestra de apenas cuatro hectáreas (4) de un total de plantaciones de diferentes especies en el mundo en 2011 cercanas a los 271 millones de hectáreas y que superan los 30 millones de hectáreas en solo plantaciones de eucalipto [14].



Figura 7. Retoños luego de tres años de corte.

Igualmente se encontró que en la parte media del predio existió una bocamina para explotar carbón, abandonada hace unos años. En el municipio hay cerca de 12 explotaciones de carbón y una de ellas, según los habitantes, les genera gran inquietud, dado que su explotación puede estar socavando la estabilidad del casco urbano. También se observó que en el costado oriental del municipio esta explotación produce galerías de drenaje, aspecto que cada vez más irán extrayendo

el agua proporcionalmente con su avance debajo del municipio, probablemente hasta agotar las reservas del acuífero. Es posible que también más adelante causen problemas de deslizamientos con la extracción del mineral y comiencen a aparecer asentamientos diferenciales en la superficie del terreno del municipio y generen grietas en las casas [24] [13].

En el año 2020 se puso a drenar la cuneta de la carretera sobre el predio en estudio y las aguas lluvias no han hecho efecto negativo, dado que los árboles consumen el agua producto de esta escorrentía. Sin embargo, una vez estabilizado y recuperado el terreno, en la medida que se pueda reemplazar por árboles de la región es mejor para la biodiversidad [14]. Igualmente, los árboles permiten el crecimiento de sotobosque, ayudan a la infiltración del agua lluvia y así disminuye la escorrentía y por supuesto contribuyen a mitigar el cambio climático, con la acción de sumideros de carbono. Estos procesos aumentan las posibilidades de crecimiento de la fauna y de la flora en general. Las raíces contribuyen al sostenimiento del suelo porque forman un tablestacado o red que incrementan de forma sustancial la resistencia al esfuerzo contante. En su conjunto mejoran la calidad del agua y las plantas tienen la virtud que ellas mismas se pueden reproducir e incrementar las acciones descritas [6].

La reforestación siempre contribuye al ambiente con distintos elementos para la recuperación del suelo, del ciclo del agua y su regulación natural, a partir de la infiltración, la retención y la evapotranspiración. Igualmente, ayuda a la disminución de la temperatura hasta en tres grados centígrados y puede ser superior en los días más cálidos [35]. Para [2] la restauración ecológica se lleva a cabo a partir del cultivo de árboles que generen materia orgánica, porque permiten desarrollar las características descritas y produce mejores resultados con la participación de los integrantes de la comunidad. Igualmente, [35] expresan que además de tomar el dióxido de carbono, con sus raíces producen mayor porosidad y oxigenación en el suelo y las hojas que caen se descomponen y sirven de alimento a varios organismos y en conjunto mejoran la calidad de la capa vegetal.

Entonces, la restauración ecológica, es un proceso que requiere adaptación al cambio climático porque con los daños causados al planeta, así se tomen medidas drásticas, ya tiene consecuencias negativas y para ellas es necesario tomar acciones urgentes, como la reforestación a gran escala para obtener los beneficios tratados y regular la temperatura, con producción de microclimas mejorados [18] [19]. Para ello es necesario plantear opciones, como generar empleo con la mano de obra migratoria, en todas las esferas del planeta y promover

cambios con políticas públicas y que lideren la academia [36] [37].

Al respecto, [35] dicen que los árboles con raíces profundas, por su tamaño de copa, ayudan como cortinas rompevientos. Según [2] recomiendan para disminuir los deslizamientos, árboles como El Nogal, el Nacedero y el Guamo, pero en ocasiones si es muy pendiente el terreno y erosionado se recomienda hacer trinchos y terrazas para iniciar el proceso de revegetalización. Para los procesos de reforestación, con los fines que se requieran, es necesario involucrar a la comunidad, con acciones de capacitación y concienciación para el éxito inicial, el trabajo en equipo y el mantenimiento y conservación de lo construido [2].

Finalmente, los árboles prestan servicios de regulación que producen efectos positivos con el clima y con el aire, disminuyen la meteorización del terreno y el arrastre de sólidos y contribuyen a la polinización. Igualmente, ellos ayudan al sostenimiento y fomento como hábitat desde microorganismos hasta grandes especies y de la diversidad genética. Entonces, en la formación de los nuevos profesionales se necesita ayudar a construir conocimiento y competencias en pensamiento crítico con relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que permitan la adaptación a los nuevos procesos que se viven en el siglo XXI y en los procesos para la sustentabilidad que incluyen la sostenibilidad ambiental, social y económica [38] [39] [40] [41].

4. Conclusiones

En ocasiones es mejor usar reforestaciones como proceso de estabilización de taludes, como bioingeniería, que vaciar metros cúbicos de concreto para construir muros. Son procesos ambientales y de esta manera se evita la explotación de materiales como arena, gravilla y usar cemento y hierro para concreto ciclópeo o para estructuras reforzadas. Entonces, es conveniente privilegiar la siembra de árboles sobre el uso de otras obras de bioingeniería.

Los eucaliptos son árboles muy buenos para reforestar en zonas propensas a deslizamientos o con ellos en proceso y en predios erosionados, por su rápido crecimiento, no requieren muchos nutrientes y porque bajan el nivel freático.

Los eucaliptos contribuyen al ciclo vital del agua, son sumideros de carbón, aportan madera para múltiples usos, contribuyen a la biodiversidad con la polinización que permiten y ayudan a la producción de miel.

En los casos en que no requiera estabilizar el suelo, ni bajar el nivel freático es preferible reforestar con árboles nativos, dado que tienen muchos más aportes a la biodiversidad en general, como a la preservación de la fauna y de la flora.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a quienes colaboraron en la presente investigación con sus testimonios y recolección de información, especialmente a: Álvaro Pérez, Adán Vargas, Carmen Julio Téllez, Blanca de Téllez, Campo Elías Cárdenas, Ernesto Acero, Omar Cely y Vilma Cely.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] N. Perico-Granados, J. Mora-García, Fuentes-Guerrero, L. Fonseca. “Formación, desarrollo comunitario y calidad de vida en Boyacá, caso: Betétiva, desde 1960”, *Heurística: revista digital de historia de la educación*. Vol. 24, no Extra 24, pp.114-129, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9187030>
- [2] L. Salazar-Gutiérrez, É. Hincapié-Gómez. “Conservación de suelos y aguas”, *Cenicafé*, Vol. 1, pp. 285–320, 2013. [Online]. Available: https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4325/1/cenbook-0026_13.pdf
- [3] J. Barrera-Gutiérrez, J. Rivera-Posada, M. Cadena-Romero, M. “Influencia del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas a movimientos masales”, *Cenicafé*. Vol 64, no 2, pp. 59-77, 2013. [Online]. Available: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/531>
- [4] F. Grajales, R. Vallarino, G. Mejía, D. Centella, “Bioingeniería de taludes: evaluación del uso de árboles y arbustos como posible mecanismo para incrementar el factor de seguridad”, *RIC*. Vol 7, no 2. Diciembre, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7.2.3336>
- [5] H. Arévalo-Algarra, N. Perico-Granados, C.A., Reyes, M. Vera, J. Monroy, J. y C. Perico-Martínez. “Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá)”. *Tecnura*, Vol 25 no 67, pp. 86–101. 2021. <https://doi.org/10.14483/22487638.15248>
- [6] T. Hernández-Columbié, R. Guardado-Lacaba. “Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel”. *Minería y Geología*, Vol 30, no 4, pp 55-59. Octubre - diciembre, 2014. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223533734004>
- [7] J. Suarez-Díaz. (2012, marzo, 20) “Deslizamientos, Tomo I: Análisis Geotécnico, Las técnicas geofísicas en el análisis de estabilidad de taludes y geotecnia” [Online]. Available: <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>
- [8] N. Perico-Granados, C. Tovar-Torres, C. Reyes, C. Perico-Martínez. (2021). “Formación de docentes y transformaciones desde la ingeniería”. [Online]. Available: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/11822> Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- [9] A. Leonard. “*La historia de las Cosas*”. Bogotá, Editorial Fondo de Cultura Económica, 2010.
- [10] M. Vera-Guarnizo, J. Monroy, y N. Perico-Granados. “Problemática de las instituciones educativas públicas del municipio de Girardot-Cundinamarca: un análisis desde la Educación Superior”. *Sinergias educativas*, Vol 5, no 1, pp. 307-319. 2020a. [Online]. Available: <https://sinergiaseducativas.mx/index.php/revista/article/view/77>
- [11] N. Perico-Granados, E. Galarza, M. Diaz-Ochoa, H. Arévalo-Algarra, N. Perico-Martínez. “Guía Práctica de Investigación en Ingeniería: Apoyo a la formación de docentes y estudiantes”. Corporación Universitaria Minuto de Dios. 2020. [Online]. Available: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10822>
- [12] A. Vargas. “Entrevista a profundidad sobre estabilidad de taludes, para el caso de Betétiva, Boyacá, Colombia”. 2023.
- [13] A. Pérez. “Entrevista a profundidad sobre estabilidad de taludes, para el caso de Betétiva, Boyacá, Colombia”. 2024.
- [14] A. Cordero-Rivera. “Cuando los árboles no dejan ver el bosque: efectos de los monocultivos forestales en la conservación de la biodiversidad”. *Acta biol. Colomb*. Vol.16, no.2, Bogotá. 2011. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2011000200018&script=sci_arttext
- [15] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Recuperación de suelos e incremento de la productividad en Betétiva, Informe de investigación* (pdf). 1987.
- [16] C. Restrepo y M. Alviar “Tasa de descuento y rotación forestal: el caso del Eucalyptus Saligna” *Lect. Econ.* no.73 Medellín, Julio-Diciembre, 2010. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-25962010000200006&script=sci_arttext
- [17] L. Bello-Benavides y G. Cruz Sánchez. “Profesorado universitario ante el cambio climático. Un acercamiento a través de sus representaciones sociales”. *RMIEiva*, Vol 25, no 87, pp. 1069-1101. 2020. [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662020000401069&script=sci_arttext
- [18] E. González-Gaudiano y P. Meira-Carrea. “Educación para el cambio climático: ¿educar sobre el clima o para el cambio?”, *Perfiles educativos*. Vol 42, no 168, pp. 157-174, marzo 2020. [Online]. Available: https://perfileseducativos.unam.mx/iisue_pe/index.php/perfiles/article/view/59464
- [19] H. Avella-Forero, N.R. Perico-Granados, P.M.A Castellanos, A. Queiruga-Dios, H.M.A. Algarra, H.M.A. “Development of Competencies Applying the Project Method. Application in Environmental Engineering” en: Gude Prego, J.J., de la Puerta, J.G., García Bringas, P., Quintián, H., Corchado, E. (eds) 14th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems and 12th International Conference on European Transnational Educational (CISIS 2021 and ICEUTE 2021). CISIS -ICEUTE 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, 1400. Springer, Cham. 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87872-6_37

- [20] N. Perico-Granados, L. González-Díaz, L. M. Puerto-Cristancho, C. Perico-Martínez, C. “Construcción de conocimiento sobre el medio ambiente con base en el método de proyectos”. *Form. Univ.* Vol.15, no.2 La Serena. 2022. [Online]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50062022000200011&script=sci_arttext&tlng=en
- [21] R. Martínez-Ruiz, H. Azpíroz-Rivero, J. Rodríguez-De la O, V. Cetina-Alcalá, M. Gutiérrez-Espinoza. (2006). “Importancia de las plantaciones forestales de Eucalyptus” *Ra Ximhai*. Vol. 2, no. 3, pp. 815-846. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46120313.pdf>
- [22] R. Villarreyna, J. Avelino, R. Cerda, R. “Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales” *Agronomía mesoamericana*. Vol 31, no 2, pp. 499-516. e-ISSN 2215-3608. 2020. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>
- [23] C. Restrepo y M. Alviar. “Tasa de descuento y rotación forestal: el caso del Eucalyptus Saligna” *Lect. Econ.* no.73 Medellín, Julio - Diciembre 2010. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-25962010000200006&script=sci_arttext
- [24] E. Acero, C.E., Cárdenas. Entrevista a profundidad sobre estabilidad de taludes, para el caso de Betétiva, Boyacá, Colombia. 2024.
- [25] O. Cely, V. Cely, Entrevista a profundidad sobre estabilidad de taludes, para el caso de Betétiva, Boyacá, Colombia. 2024.
- [26] B. De Téllez, Blanca, C. Téllez. Entrevista a profundidad sobre estabilidad de taludes, para el caso de Betétiva, Boyacá, Colombia. 2024.
- [27] F. Marcelo-Bazán, W. Mantilla-Chávez, R. Baselly-Villanueva, J. Vargas-Aldave, U. Pajares-Gallardo. “Uso potencial de Eucalyptus viminalis Labill. para la captura de carbono en un sistema silvopastoril, Perú”. *Colomb. For.* Vol 26, no 1, pp 64-78. Bogotá. [Online]. Available: <https://doi.org/10.14483/2256201X.19043>
- [28] L. Acuña-Simbaqueva, H. Andrade, M. Segura, E. Sierra-Ramírez, D. Canal-Daza, O. Greñas-Corales, O. “Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero de hogares por arbolado urbano en Ibagué-Colombia”. *Ambient. soc.* 24. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200191vu2021L3A0>
- [29] P. Jacobi, L. Giatti, R. Silva Júnior, P. Côrtes, A., Turra, Z. Lauda-Rodríguez, y B. Milz. (2019). “El Amazonas amenazado”. *Amb y soc.* Vol 3 no 2. [Online]. Available: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/v6rgFfjk5RCQXymstzmjrwH/?format=pdf&lang=es>
- [30] N. Perico-Granados, J. Garza-Puentes, C. Tovar-Torres, L. González-Díaz, L. (2022). “Análisis de la recordación del concepto de remoción en masas en graduados de ingeniería civil. Un estudio de caso de Educación para el Desarrollo Sostenible” en: II Congreso internacional de Responsabilidad Social, Innovaciones y retos emergentes para el cuidado del planeta Corporación universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Editorial Grupo Compás. Guayaquil, Ecuador. 2021, 27-53. [Online]. Available: <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/793>
- [31] S. Godeda, J. Ekroos, J. Domínguez, J. Azcárate, A. Guitián, H. Smith, H. (2019). “Efectos de las plantaciones de eucalipto sobre la riqueza y composición de especies de aves y hierbas en el noroeste de España”. *Ecología y conservación globales*. Vol 19 [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00690>
- [32] J.A. Vega Hidalgo. “Prioridades de restauración de áreas forestales quemadas”. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 42: pp. 155-180
- [33] B. Fernández-Villarreal, R. Zavala-González, I. Cantú-Silva, H. González-Rodríguez, H. Composición química y morfología de raíces de cinco especies arbustivas nativas y su influencia en la fijación del suelo, *Bot. Sci.* vol.100, no 1, pp 28-41. México, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17129/botsci.2777>
- [34] S. Covey. *La tercera alternativa*. Barcelona. 2012: Editorial Paidós, pp 371. 2012.
- [35] E. Murgueitio, J.; Chará, R. Barahona, C. Cuartas, y J. Naranjo, J. “Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al Cambio Climático”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 17, no. 3, pp. 501-507. 2014. México, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93935728001.pdf>
- [36] M. Vera-Guarnizo, J, Monroy, N. Perico-Granados. “Crisis Migratoria Determinante para Evaluar el Desarrollo”. *Centrosur*. Vol 4, no 1. 2020b. [Online]. Available: <https://www.centrosureditorial.com/index.php/revista/articulo/view/34/72>
- [37] M. Puerto-Cristancho, N. Perico-Granados, M. Bautista-Roa, J. Garza-Puentes, N. Perico-Martínez, N. “Los ingenieros como sujetos para promover cambios”. *Ingenio Magno*. Vol 14, no 1 pp. 53-63. 2023. [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2713>
- [38] M. Orduz-Quijano, O. Sánchez, L. Baquero, N. Perico, R.N. Tuay, R.N. y N. Blanco. (2021). *La Educación, las Ciencias Sociales y la Interculturalidad. Una Mirada desde la formación posdoctoral*. Ediciones Usta Universidad Santo Tomás. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/43596>
- [39] M. Puerto-Cristancho, N. Perico-Granados, C. Reyes-Rodríguez, L. Guzmán-Serrano, y L. Garzón-Castro. (2022). Ladrillo de plástico comparado con el ladrillo tradicional. *Ingenierías USBMed*. Vol 13, no 1, pp. 56-63. [Online]. Available: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/5107>
- [40] N. Perico-Granados, C. Tovar-Torres, C. Reyes, y M. Vera-Guarnizo. “Método de proyectos para construir conocimiento en experticia, comunicación y pensamiento crítico, sobre el ambiente”. *Publicaciones*, Vol 52, no 3, pp. 291-303. 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v52i3.22275>
- [41] C. García-Puentes, L. González-Díaz, N. Perico-Granados, C. Rodríguez, J. Hernández-Romero. “Pensamiento crítico y los objetivos de desarrollo sostenible: comunidades y ciudades sostenibles”. *Ingenio Magno*. Vol 13, no 1, pp. 59-79. 2022.