

Establecimiento de medidas de prevención de la erosión del suelo y estabilización de taludes en el área Oso Hormiguero

Establishment of measures of prevention of soil erosion and slope stabilization in the area Oso Hormiguero

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: ENERO 20, 2015; ACEPTADO: FEBRERO 15, 2015

José Eduardo Mora Charry
eduardocmjneiva@hotmail.com

Armando Torrente Trujillo²
armando.torrente@gmail.com

Universidad Surcolombiana, Neiva-Colombia

Resumen

Se estableció una serie de medidas de prevención de la erosión que buscan reducir la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica y eólica y con ello estabilizar los taludes. La efectividad de las medidas aplicadas de manera integral contribuye significativamente en los procesos de recuperación de los suelos y del ecosistema en general. Para llevar a cabo este proceso se realizó un diagnóstico general del ecosistema que permitió conocer las causas y consecuencias de los procesos erosivos en la zona; se analizaron para ello los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ambientales en la caracterización del territorio. Para este propósito se zonificó el área de estudio y se determinaron los parámetros fundamentales, que permitieron a su vez estimar las pérdidas de suelo y recomendar las acciones integrales para la recuperación y sostenibilidad del área. El diagnóstico condujo a seleccionar las acciones agronómicas y de ingeniería a implementar en el área. La mejor fue adopción la siembra de especies vegetales como el vetiver, acompañada de obras de bioingeniería amigables con el medio ambiente.

Palabras claves

Erosión; pérdida de suelos; balance hídrico; especies vegetales; obras de bioingeniería.

Abstract

A series of measures to prevent soil erosion seeking to reduce the loss of these as a result of water and wind erosion was established, and thus stabilize slopes. The effectiveness of the action taken will be at a later time knowing that soil recovery processes take time and are conducted through joint activities. To carry out this process was due to hold a general diagnosis ecosystem yielded information on the causes and consequences of erosion in the area, analyzing the biophysical, socio-economic, and environment to help characterize the territory. For this characterization, the study area identifying key parameters, which allowed us to know the estimated soil loss, and perform a water balance was zoned. By having this information we proceeded to select the methods to be implemented in being better adoption planting plants using plant vetiver area and design works bioengineering as the implementation of a sink and dikes in materials readily available and environmentally friendly.

Keywords

Erosion; soil loss; water balance; plant species; bioengineering works.

Los autores expresan su agradecimiento a la Fundación del Alto Magdalena, tanto por los aportes de su equipo técnico de ingeniería como por el financiamiento del proyecto.

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos suelo-agua son los mayores afectados por los cambios climáticos como consecuencia de la drástica reducción en la humedad del suelo y las exigencias del material vegetal para la supervivencia. El ecosistema norte del Huila no es una excepción. El proceso de erosión del suelo por el agua y el viento es una constante en el tiempo, y hay consciencia de la prevalencia de una zona seca y semiárida en vías de desertización. Por esta razón es necesario implementar medidas de mitigación y recuperación del suelo que contribuyan a la retención de humedad y la reducción de la erosión.

Según Hudson (2010), los dos principales agentes erosivos son el viento y el agua, y teniendo en cuenta las condiciones en que ambos son activos, puede construirse un modelo de las regiones del mundo en las que la erosión hídrica o eólica puede ser particularmente seria. Las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde las produce como fuera de él (erosión difusa). La erosión reduce la humedad disponible en el suelo y acentúa las condiciones de la aridez; el efecto resultante es la pérdida de productividad, que, en principio, limita las especies que pueden cultivarse y obliga a aumentar los fertilizantes a aplicar, lo que lleva al abandono de la tierra (Morgan, 1997).

En el caso de la erosión hídrica se considera que las precipitaciones, relieve (en especial correspondiente en cuanto a longitud y grado), características edáficas (textura, estructura, permeabilidad, contenido de materia orgánica entre otras) y cobertura vegetal son los factores que inciden directamente en la erosión de los suelos; cada uno actúa de manera particular (Lemus & Navarro, 2003). Los procesos físicos que aborda la hidrología involucran tantas variables que su estudio desde un enfoque puramente determinístico resulta poco útil para la ingeniería, puesto que en la resolución de problemas reales normalmente no se dispone de los niveles de información necesarios para abordar este tipo de planteamientos. Con frecuencia es necesario partir de un conjunto de hechos observados y mediante análisis empíricos o conceptuales definir las magnitudes y frecuencias de volúmenes de escurrimiento y caudales de conducción (Fernández, Martínez, & Ramírez, 2009).

Se utilizaron métodos ambientales y de bioingeniería hasta donde fue posible y viable económicamente, y como principal medida se planteó la recuperación mediante

siembra de especies vegetales adaptables al clima y que por sus condiciones de extrema sequía permita su recuperación natural; además, se plantearon soluciones alternas para reducir la erosión. Según Alegre (2007), existen cerca de diez especies de gramíneas comunes de la especie *Antropogoneae* y perennes que se encuentran en las regiones tropicales del mundo y que pertenecen a la familia *Gramínea*, subfamilia *Panicoindae* y dentro de éstas el gras vetiver (*Chrosopogon zizanioides*). Dadas las características de esta planta, se ha seleccionado para la recuperación del suelo en el área. Es útil como barrera contra la erosión y la estabilización de taludes, actúa como cortavientos, forma banales vivos y naturales, entre otros; de importantes factores de resistencia al viento, a la sequía, inundaciones, altas y bajas temperaturas, gran rango de pH, resistencia al pastoreo, etc. (Ramírez, 2013).

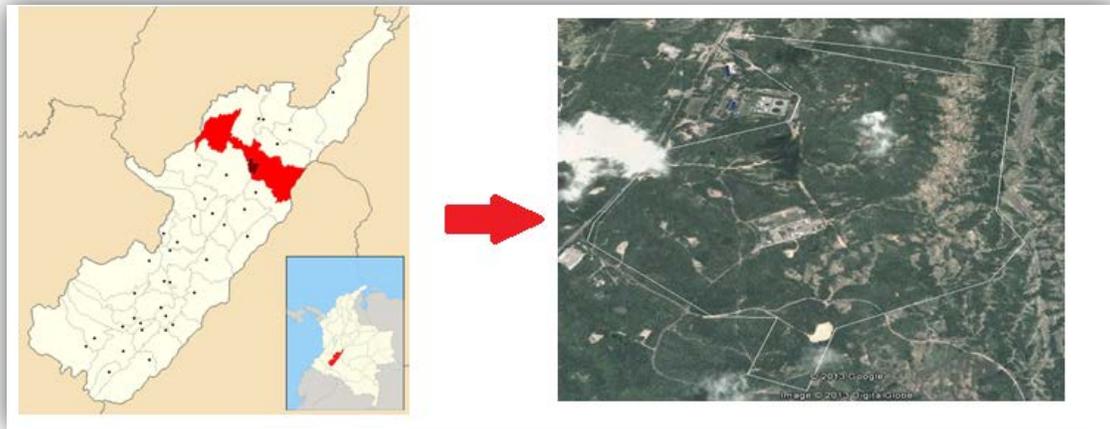
La empresa Ecopetrol S.A., comprometida con la responsabilidad social empresarial ambiental, apoya la restauración, protección y conservación de la biodiversidad en el área de influencia de exploración y explotación de hidrocarburos en los campos de la Superintendencia Operativa Huila a través del Proyecto piloto de protección y restauración ecológica del área Oso Hormiguero. La Fundación del Alto Magdalena, operadora de los recursos de Ecopetrol, es una empresa orientada a generar acciones para la recuperación del suelo y reducir la erosión; por tal motivo prevé, mediante la ejecución de este tipo de proyectos, mejorar y conservar el área denominada Oso Hormiguero. Sin embargo, surgen varias incógnitas para la recuperación debido a las condiciones limitantes del lugar: ¿cómo puede recuperarse el área? ¿Serán altos los costos? ¿Cuáles son los mejores métodos a implementar? ¿Llevará mucho tiempo implementar las soluciones? ¿Cuál será el periodo de recuperación?

II. METODOLOGÍA

A. Localización

El área conocida como Oso Hormiguero se ubica al norte del departamento del Huila; por lo tanto, es una zona en proceso de desertificación, caracterizada por un ecosistema seco-semiárido y de escasa cobertura vegetal. Se observa la necesidad de llevar a cabo acciones de restauración del área (Figura 1).

Figura 1. Localización del área Oso Hormiguero, en el municipio de Neiva



B. Diagnóstico

Se hizo un diagnóstico general del ecosistema Oso hormiguero. Para ello fue importante definir las variables a tener en cuenta para el estudio y reconocimiento de los aspectos biofísicos del lugar, lo cual permitió además identificar los procesos que han actuado de manera intensiva y el estado actual del área, con el fin de proyectar

los planes y diseños en la adecuada recuperación y estabilidad del área para su utilización y beneficio (Figura 2). Para el diagnóstico fue de vital importancia delimitar el área de estudio y caracterizar los aspectos biofísicos y ambientales, junto a una serie de estudios de campo y de laboratorio para identificar detalladamente la oferta ambiental y las características fisiográficas (Dussan & Vargas, 2007).

Figura 2. Paisaje natural erosionado con cobertura escasa de pasto tiatino y detalle de cárcava

A



B

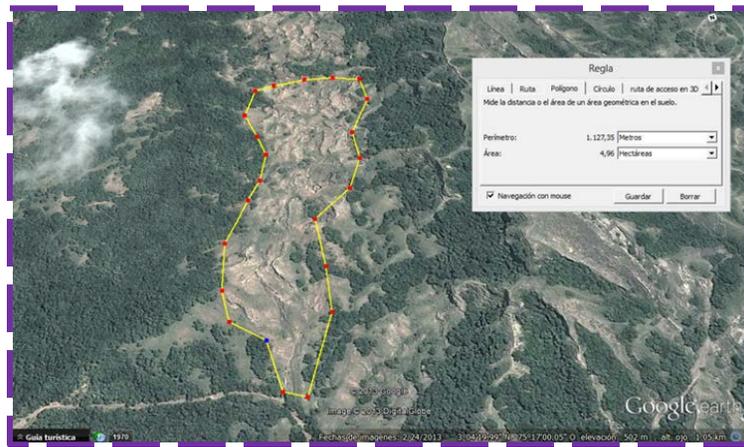


C. Caracterización de territorio

Se caracterizó el territorio previo a la zonificación. Se determinó el caudal de escorrentía utilizando como parámetros la precipitación de diseño, la infiltración

potencial, el análisis de suelos y otros, con la aplicación de herramientas como Google Earth, útiles en la delimitación del área de drenaje (Figura 3). Se estimó la pérdida de suelo anual (t/ha) con la ecuación USLE (Ecuación 1).

Figura 3. Delimitación del área Oso Hormiguero



$$A = R K L S C P \quad \text{Ec. 1}$$

Donde,

- A: pérdida de suelo por unidad de superficie en (t/ha),
- R: factor de erosividad de la lluvia, el producto acumulado para el período de interés (normalmente un año),
- K: es el factor erodabilidad del suelo,
- L: es el factor longitud de la pendiente,
- S: es el factor gradiente de la pendiente,
- C: es el uso y gestión de suelos, y
- P: es el factor práctica mecánica de apoyo

En la estimación de la pérdida de suelos tuvo que calcularse cada una de las variables de la ecuación USLE. Para el factor de erosividad R se utilizó la ecuación de Fournier. Para el índice de erodabilidad K se usó la ecuación de Paulet. Los factores L, S, C y P son adimensionales y se obtienen en tablas establecidas. Se realizó el balance hídrico teniendo en cuenta las principales características de entradas y salidas de agua en el área (Izquierdo, Chavarro, & Trujillo, 2007), utilizando la Ecuación 2.

$$P = E + I + ETp \quad \text{Ec. 2}$$

Donde,

- P: precipitación,
- E: escorrentía,
- I: infiltración,
- ETr: evapotranspiración real.

Se adquirió la información climatológica del Ideam, y para determinar la evapotranspiración se utilizó el método de Blanney-Cridde. La escorrentía se calculó por el método del número de curva CN (Torrente, 2010).

Para establecer las barreras vivas se planteó la forma de siembra de acuerdo con las variables principales que se identificaron en el área. Las herramientas y equipos utilizados fueron vehículos para el transporte de personal y del vetiver desde el vivero hasta el lugar de siembra, estacas de guadua, mazos o martillos, barras y barretón, picas, decímetros. La siembra se hizo con alta densidad, sin exceder los parámetros recomendados. Para el caso se asumió una densidad de 5000 plantas/ha, lo que es 2 m entre surcos y 1 m entre planta en forma de curvas de nivel, lo cual permitió un mejor desempeño en la interceptación de las lluvias que escurren en suelo erosionado.

III. RESULTADOS

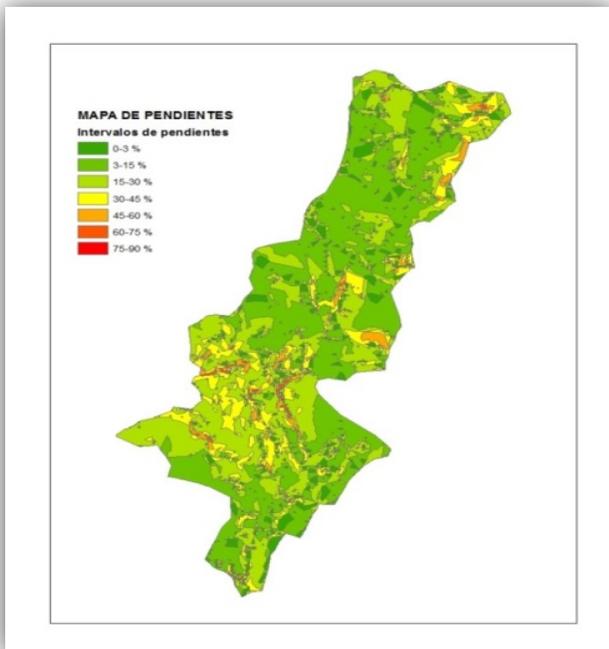
A. Zonificación de áreas y análisis del suelo

El levantamiento topográfico determinó un área efectiva para el estudio de 3.5 ha. Se identificaron las líneas de drenaje y la visualización general del área con su disposición al escurrimiento. El análisis físico-químico del suelo permitió conocer sus características. El estudio de salinidad determinó el contenido de minerales alcalinos con alta concentración de calcio y magnesio sin riesgo de sodificación ni salinidad y con pH de 8.8. Por las condiciones climáticas y de suelo se infiere que el área no es apta para el normal desarrollo de los cultivos. Estas condiciones no son restrictivas para la propagación del vetiver.

Se realizó el respectivo análisis químico en dos sectores distantes dentro del área, que se denominaron sector crítico 1 y sector crítico 2. Hubo resultados muy similares en ambos lugares. El suelo posee alta concentración de minerales alcalinos y con bajo contenido de elementos menores; se requiere para implantar el vetiver la aplicación complementaria de fertilizantes en bajas cantidades.

El análisis químico recomendó aplicar fertilizantes orgánicos (gallinaza, compost, etc.) a razón de 1 t/ha en mezcla con roca fosfórica a razón de 350 kg/ha. Se aplicó una parte del fertilizante en la apertura de la zanja de siembra y la otra parte alrededor del tallo después de sembrado. Una ventaja de la materia orgánica es que retiene y conserva la humedad. El análisis físico confirma la presencia de material mineral consolidado, con baja porosidad, textura franco arcillo arenosa de estructura masiva estable, lo que indica que es poco probable que ocurran deslizamientos independientemente de la topografía y que la erosión la causan esencialmente las lluvias. Con este análisis se calcularon los requerimientos hídricos del cultivo, se identificaron las áreas específicas en donde se llevó a cabo el conjunto de actividades para recuperar el suelo, se hizo la zonificación indicando los lugares donde se deben implementar dichas soluciones. Esto último se mostró mediante un mapa digital de elevación (Figura 4).

Figura 4. Modelo digital de elevación del área Oso hormiguero



El terreno con pendiente entre 0 % y 30 % es el área adecuada para reforestación, y que el área de pendientes entre 30 % y 60% es adecuada para implementar barreras vivas que actúen en la reducción de la erosión y contribuyan a estabilizar los taludes.

B. Composición florística del área

Según la caracterización y composición florística del área de protección Oso Hormiguero, se halló un total de 25 especies, de las que las más abundantes son el amargoso, con 40,68 %; el arrayán, con 34 %; y el fruto de pava, con 11,61 %. Esto significa que en la parcela de muestreo el 86 % de las especies totales se reparten entre éstas. La caracterización permitió identificar la proporción de especies en el área de estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Familias vegetales en área de protección Oso Hormiguero (Fundación Alto Magdalena, 2013)

Especie	Abundancia	%
<i>Apocinaceae</i>	550	40,68
<i>Myrtaceae</i>	461	34,09
<i>Rubiaceae</i>	166	12,27
<i>Rutaceae</i>	41	3,03
<i>Fabaceae</i>	38	2,81
<i>Burseraceae</i>	19	1,40
<i>Nyctaginaceae</i>	19	1,40
<i>Salicaceae</i>	16	1,18
<i>Meliaceae</i>	12	0,88
<i>Euphorbiaceae</i>	6	0,44
<i>Rhamnaceae</i>	5	0,36
<i>Asteraceae</i>	4	0,29
<i>Bignoniaceae</i>	4	0,29
<i>Capparaceae</i>	4	0,29
<i>Malvaceae</i>	3	0,22
<i>Moraceae</i>	2	0,14
<i>Aristolochiaceae</i>	1	0,07
<i>Malpighiaceae</i>	1	0,07

Se identificó que la zona de vida pertenece al bosque seco tropical (Bs-T) con dos periodos de sequía al año, dadas las condiciones de temperatura, altitud y precipitación anual. Se identificaron coberturas escasas diseminadas en bosque secundario y rastrojo.

C. Lluvia de diseño, escorrentía y erosión

Se calculó el periodo de retorno de las precipitaciones para un periodo de 15 años, seleccionando para ello la precipitación de diseño P_d , equivalente a 100,5 mm, con una probabilidad de ocurrencia del 6,7 % (Tabla 2).

Tabla 2. Periodo de retorno y selección de precipitación de diseño

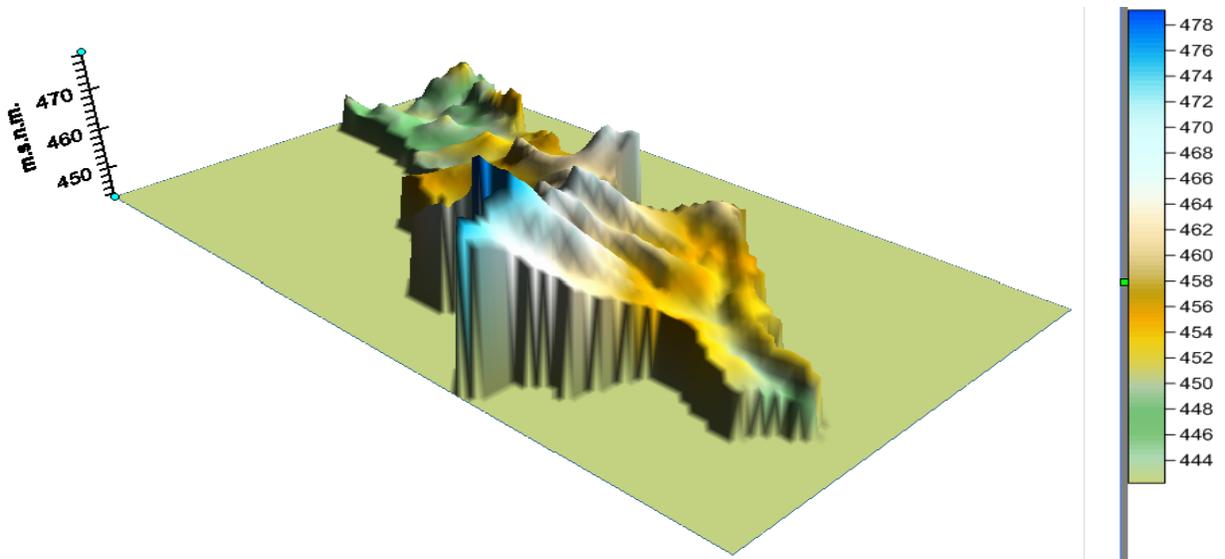
Año	Lluvia (mm)	Lluvia orden (mm)	No. orden (mm)	Periodo de retorno (años)	Probabilidad (%)
2000	73,2	100.5	1	15	6.7
2001	84	96.2	2	7.5	13.3
2002	96,2	96	3	5	20.0
2003	74,8	89.7	4	3.8	26.7
2004	69,3	89.1	5	3	33.3
2005	86,3	86.3	6	2.5	40.0
2006	85	85	7	2.1	46.7
2007	96	84	8	1.9	53.3
2008	89,1	83	9	1.7	60.0
2009	70,2	81.3	10	1.5	66.7
2010	83	74,8	11	1.4	73.3
2011	81,3	73.2	12	1.3	80.0
2012	100,5	70.2	13	1.2	86.7
2013	89,7	69.3	14	1.1	93.3

Se calculó el caudal de escorrentía que ingresa al área y es procedente de las partes altas de la cuenca (Tabla 3).

Tabla 3. Caudal de diseño

Sector	Coefficiente C	A (has)	A(5/6)	Q (l/s)	Qdiseño (l/s)
A1	12.41	1.69	1.55	19.22	19.22
A2	12.41	0.57	0.63	7.77	26.99
A3	12.41	1.67	1.53	19.03	19.03
A4	12.41	1.53	1.43	17.69	36.72
A5	12.41	1.24	1.20	14.85	14.85

Figura 6. Modelo digital de elevación del área Oso Hormiguero



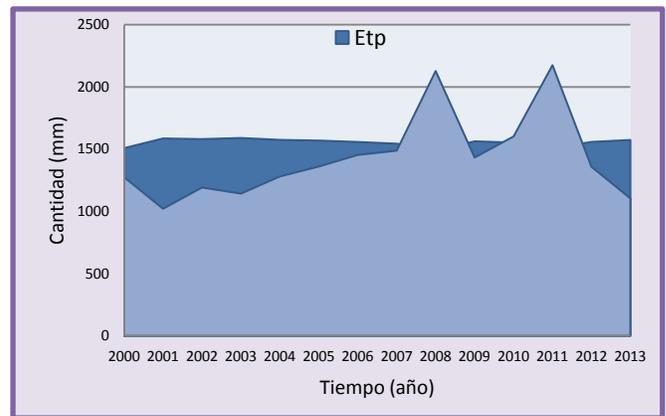
La distribución de la siembra se realizó en forma paralela a las curvas a nivel y perpendicular al flujo de agua con el fin de interceptar la escorrentía. Se seleccionaron las

Estimación de la pérdida de suelo USLE:

$$A = 74.57 * 0.55 * 1.5 * 0.10 * 0.6 = 3.7 \text{ t/ha}$$

Se realizó el balance hídrico tomando los valores de precipitación y evapotranspiración potencial, observando déficit hídrico en la mayoría del tiempo y con dos años de altas precipitaciones (Figura 5).

Figura 5. Balance hídrico en el área Oso hormiguero



D. Plan estructural para las acciones

Se realizó un modelado 3D del área para conocer la topografía como guía para el diseño y la distribución del cultivo, como de las prácticas de conservación (Figura 6).

especies vegetales resistentes para la conservación del suelo, entre estas el vetiver (*Chrosopogon zizanioides*). La disposición de siembra de la especie se realiza conforme a

su objetivo. Lo adecuado en el presente caso es sembrar esta especie en disposición de alta densidad y contorno siguiendo las curvas de nivel del terreno, para que actúe como barrera y contribuya así a controlar la erosión (Alegre, 2007). Se sembró la especie vegetal seleccionada

para conocer la adaptación al terreno, su resistencia a la sequía e implementar el desarrollo de una siembra densa y adecuada tipo piloto para la recuperación y conservación en el sector y evaluar posteriormente su inclusión en este tipo de terreno (Figura 7).

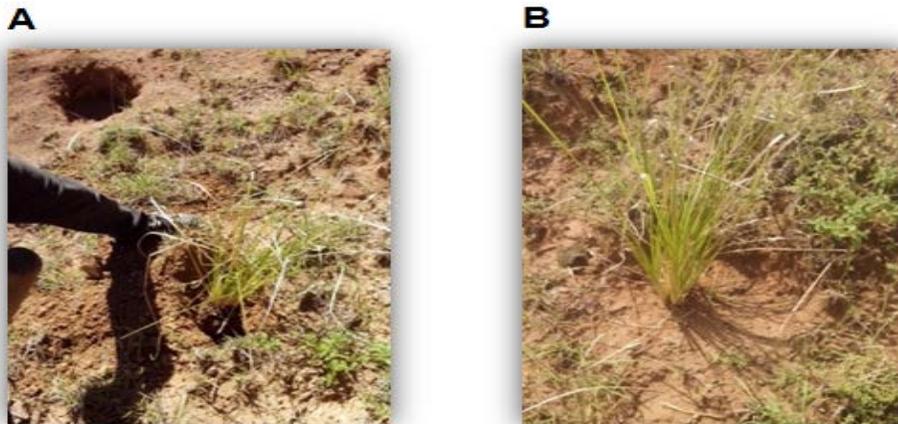
Figura 7. Siembra en corona del pasto vetiver en el área Oso Hormiguero



Para el establecimiento del cultivo se aprovechó la época de lluvias en la región. Es recomendable la adición de un pre-riego durante la semana anterior a la siembra; así se adecuan las condiciones ambientales del medio para la fijación del cultivo. Para el trasplante se excavaron zanjas

de 25 cm x 20 cm. Este establecimiento trajo consigo las siguientes ventajas: menor tiempo y costo en siembra, menor costo en equipos, menor costo en mano de obra y mayor eficiencia por las curvas nivel (Figura 8).

Figura 8. Vetiver antes y después de la siembra



La Figura 9 muestra la misma planta de vetiver con un mes de diferencia. Es notoria la mejora que tuvo durante este tiempo, así como el color más verde del follaje y con disposición al crecimiento.

Se observó en algunas plantas de vetiver la presencia de clorosis, lo cual permitió inferir el déficit hídrico al cual se someten las plantas en el área; sin embargo, al arrancar el pasto del suelo, se observó gran desarrollo de raíces de

anclaje y efectivas para absorción. A pesar de que en algunas plantas manifiestan clorosis, las raíces permanecen en perfectas condiciones. Se observa el bulbo de tierra que forma la planta, lo cual indica un buen agarre y adaptación al terreno, muestra de efectividad en la práctica para la prevención de la erosión del suelo. Se tomó una muestra de la raíz de vetiver y del pasto tiatino, este último nativo de la región, y se observó la diferencia en el sistema

radicular de las dos plantas; fue superior la fijación al suelo de la raíz del vetiver por su especial desarrollo. Al arrancar las plantas se experimentó una mayor fuerza en el vetiver

comparado con el pasto tiatino, aun cuando la apariencia de secamiento en el vetiver fue manifiesta (Figura 10).

Figura 9. Condición física del vetiver al mes del trasplante y bulbo de suelo ocupado

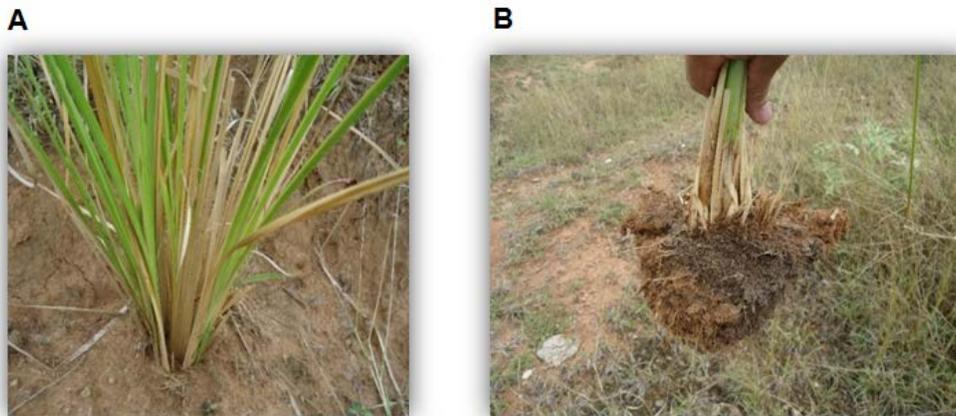


Figura 10. Comparación de raíces del vetiver y el pasto tiatino



E. Implementación de obras no convencionales

En el área de estudio se observó la formación de una cárcava que conduce el mayor drenaje de agua proveniente de las cabeceras de la cuenca. Tiene una caída libre de 3 m altura y se alimenta por intensas precipitaciones, que causan gran erosión debido a su alta energía potencial y cinética. Para reducir esto se planteó recurrir a disipadores de energía no convencionales, como bolsas de arena, grava y piedra dispuestas en forma escalonada que actúen como amortiguadores de la energía del agua, lo que reduce la erosión del suelo en este sector, como lo sugiere Fernández (2009) (ver Figura 11).

Figura 11. Disposición de los disipadores de energía



Se necesitan tulas y suelo del sitio para preparar las bolsas llenas de suelo hasta un 70 %, aproximadamente. Se llevan posteriormente al lugar de ubicación y se instalan formando una especie de diques de decantación que dejen pasar los excedentes por el costado o entre los poros.

IV. CONCLUSIONES

La caracterización del área Oso Hormiguero permitió conocer aspectos medio-ambientales fundamentales del área, como la fisiografía, la precipitación, la evapotranspiración, la pérdida del suelo y otros, para el debido diagnóstico, la planeación y ejecución de una serie de actividades que permiten la recuperación del suelo y la estabilización de taludes.

La implementación y propagación del vetiver es una práctica útil en la conservación y recuperación del suelo y la estabilidad del talud. Presenta un buen desarrollo después de su establecimiento y se adapta a las condiciones áridas y secas del lugar. Se logra reducir los procesos erosivos ocasionados por la escorrentía.

Se diseñaron obras de bioingeniería no convencionales, como el dique y el dissipador, con los requerimientos técnicos generales y de acuerdo con las condiciones del terreno. Dichas obras se seleccionaron teniendo en cuenta criterios económicos y de fácil manejo. Estas obras ayudarán a reducir los procesos erosivos, evitando así las pérdidas de suelo.

V. REFERENCIAS

- Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del Grass Vetiver (Chrosopogon zizanioides)*. Lima, Perú: OPS.
- Dussán, A.L. & Vargas, A. (2007). *Determinación de la pérdida de suelo por escorrentía (real y simulada) en la cuenca alta del río Magdalena, comparando diferentes arreglos productivos implementados* [tesis]. Universidad Surcolombiana: Neiva, Colombia.
- Fernández, D.S., Martínez, M.R., & Ramírez, M.dL. (2009). *Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua*. Montecillos, México: Colegio de Postgraduados / Sagarpa. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/CATALOGO%20DE%20OBRASb2%20%282%29.pdf>
- Fundación del Alto Magdalena. (2013). *Caracterización y composición florística en el área de protección "Oso Hormiguero" Municipio de Aipe*. Neiva, Huila.
- Hudson, N. (2010). *Conservación del suelo* [traducción al castellano]. J.M. García-Ruiz, & J.P. Martínez-Rica [Trad]. Barcelona, España: Reverté.
- Izquierdo, J., Chavarro, J.I., & Trujillo, G.A. (2008). Agricultura y cambio climático en el Huila. *Revista Ingeniería y Región*, (5), 149-158.

Lemus, V.M. & Navarro V.G. (2003). *Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo*. Santiago de Chile: Corporación Nacional Forestal.

Morgan, R.P.C. (1997) *Erosión y conservación del suelo*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Ramírez, J. Bioingeniería Colombiana. Control de la erosión con vetiver. [en línea]. Recuperado de <http://www.vetivernet.com.co>

Torrente, A. (2010). Drenaje agrícola. Apuntes de clase [Curso regular del Programa de Ingeniería Agrícola de la Universidad Surcolombiana]. Neiva, Colombia: USCO.

CURRÍCULOS

Armando Torrente Trujillo. Doctor en Ciencias Agrarias y Máster en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; Ingeniero Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y Especialista en Riego de la Universidad del Tolima. Profesor titular e investigador de la Universidad Surcolombiana (Neiva).

José Eduardo Mora Charry. Ingeniero Agrícola de la Universidad Surcolombiana (Neiva). Trabaja como Administrador de Proyectos en la Fundación Alto Magdalena.