



RETENCIÓN DE SUELOS EN AFLORAMIENTOS ROCOSOS DE LA RESERVA FLORÍSTICA MANEJADA (RFM) SIERRA CANASTA DE GUANTÁNAMO, CUBA

Retention of soils in rocky outcrop of Managed Flora Reservation (MFR) Sierra Canasta from Guantánamo, Cuba

Lázaro Telo¹, Daljanis González¹, C. Yuris Rodríguez¹, C. Heriberto Vargas², C. Leudiyanes Ramos¹ & José Lescaille¹

¹Facultad Agroforestal, Universidad de Guantánamo, Calle 13 Sur No. 1154 e/ 5 Oeste y 6 Oeste, Guantánamo, Cuba. ²Universidad Agraria de La Habana. Carretera San José, Tapaste, Km. 1½, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba.

*Autor correspondiente/corresponding author: Correo electrónico/E-mail: lazarot@cug.co.cu

RESUMEN

El trabajo se realizó en el ecosistema degradado Reserva Florística Manejada Sierra Canasta en Guantánamo (RFM), con el objetivo de evaluar la tasa de formación de suelos en afloramientos rocosos con el uso de barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* L (maguey). El estudio se realizó durante los años 2013-2014 en suelos Lithosoles sobre rocas calizas duras, de excesiva pedregosidad y extremadamente rocosos, con pendientes entre 10%-12%. Para el estudio se conformaron dos tratamientos (barreras combinadas de piedra y *Agave* sp. y barreras muertas con restos vegetales) distribuidos en bloques al azar con tres réplicas. Las variables evaluadas fueron: profundidad de acumulación del suelo contra barrera (m), longitud de acumulación de suelo contra barrera (m), área transversal (m²), volumen acumulado (m³), área contribuidora en (m²) y tasa de formación de suelo (retenido contra la barrera) (t-ha⁻¹), además se tuvieron en cuenta características morfológicas, químicas y físicas del área. Como resultado se obtuvo una retención de suelo contra las barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* L. en el año 2014 superior en 2,3 veces a la alcanzada en 2013 como valor inicial determinado, así como, un incremento de los valores en la efectividad de éstas barreras respecto al testigo, durante los dos años de estudio. De esta manera, el suelo retenido es de pH neutro, con contenidos bajos de fósforo y potasio asimilables y altos valores de materia orgánica para una densidad aparente media. Esta variante resultó ser una práctica económicamente generalizable dado su reducido costo y por tal razón se recomienda su uso.

Palabras clave: Procesos evolutivos regresivos, afloramientos rocosos, barreras combinadas, retención de suelo.

ABSTRACT

The work was done in the degraded ecosystem: “Managed Flora Reservation Sierra Canasta” located in Guantánamo, Cuba. The aim was to evaluate the rate of soil formation in rocky outcrop using combined barriers of stones and *Agave angustifolia* L. (common name, Maguey). The study lasted two years (2013-2014) and was done in Lithosols on calcareous hard rocks, excessively stony and extremely rocky, with slopes between 10 - 12 %. It was used a randomized complete block design with two treatments (I. Combined barriers of stone and Agave sp. and II. Dead barriers with vegetable residues) and three replicas. The evaluated variables were: Depth of accumulated soil by the barrier (m), length of accumulated soil by the barrier (m), transverse area (m²), accumulated volume (m³), contributing area (m²) and rate of soil formation (retained by the barrier) (t-ha⁻¹); others morphological, chemical and physical characteristics of the area were also estimated. All the barriers evaluated showed some degree soil retention as compared with the control (witness). The best results were obtained using the combined barrier of stones and *Agave* sp which reported an increase of 2.3 times in the rate of soil retention in comparison with the beginning of the experiment. The retained soil has neutral pH, low levels of assimilable phosphorus and potassium and high values of organic matter which lead to an adequate value of the apparent density of the soil (1,4 g/cm³). This barrier constitutes an attractive practice for soil recovery considering its low cost.

Key words: Regressive evolutionary processes, rocky emergence, combined barriers, soil retention

INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación del suelo han alcanzado en los últimos años el reconocimiento de problema ambiental global y se ha sugerido desde los diversos foros y organismos internacionales que, para establecer de manera adecuada los métodos de lucha contra este flagelo, se haga necesaria la evaluación de esta degradación a nivel local y a escala detallada (Guerra-García et al. 2014)

García-Chevesich (2015) afirma que la degradación de suelos está afectando 300 millones de hectáreas de tierra en América Latina actualmente, mientras que en el mundo se pierden, anualmente, grandes cantidades de suelo y se deforestan más de 36 hectáreas por minuto por el mal uso de estos recursos naturales, intensificando con ello los procesos evolutivos regresivos asociados a la pérdida del equilibrio de un suelo estable.

En este contexto FAO (2008) estima que la erosión de los suelos, la pérdida de materia

orgánica y la pérdida de elementos nutritivos han reducido la productividad de más de tres millones de km² de tierras agrícolas, mientras que casi 800 mil km² de tierras áridas corren peligro de desertificarse por un exceso de explotación de la vegetación para uso doméstico, por deforestación y por utilización de métodos inadecuados de manejo.

En tal sentido Spalletti (2007), Ortíz (2015) y Duque-Escobar (2016) refieren que el papel científico de la Geología, debe ser conducido hacia la determinación de los ambientes de la génesis de las formaciones de los suelos como evento geológico que acompaña importantes transformaciones de los mismos, tanto en las áreas fuente de sedimentos, como en las áreas de deposición.

La República de Cuba no escapa a la alternancia de estos procesos y exhibe cifras de más de 2 millones 900 mil hectáreas afectadas por erosión hídrica fundamentalmente al este del país, la zona de mayor presencia de ecosistemas frágiles de montaña.

En la provincia de Guantánamo, entre los municipios de El Salvador y Niceto Pérez, se encuentra uno de éstos ecosistemas frágiles: la Reserva Florística Manejada (RFM), Sierra Canasta, con una extensión de 5.841,00 ha, representada litológicamente por la Formación Charco Redondo (CHR), compuesta por calizas compactas órgano-detriticas, fosilíferas, de color variable, con frecuentes brechas en la parte inferior del corte donde predomina la estratificación gruesa (Guarat et al. 2011).

Geomorfológicamente esta Reserva está asentada entre la Depresión Tectónica de Guantánamo y la Depresión Tectónica de Carrera Larga, en la unidad regional natural antrópica Región Oriental, Gran meseta de Guantánamo, Sierra Canasta, con una altimetría que se levanta desde los 100 msm en su base, hasta los 443 msm. En ella, los principales procesos de degradación de suelos están ligados a modificaciones de la cubierta vegetal, que llevan a la disminución de la protección de la superficie del suelo que tiene como consecuencia, el desencadenamiento de procesos de degradación tales como la erosión hídrica, lo que indica la necesidad de establecer en esta zona, sistemas de manejo para suelos degradados, que permitan obtener resultados productivos sostenibles y a la vez, eleven los contenidos de materia orgánica de los mismos, con el consecuente mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Sánchez & Rubiano 2015).

En correspondencia con lo anterior se realizó la presente investigación en el área antes descrita con el objetivo de evaluar la tasa de formación de suelos, e indirectamente la retención de suelos en afloramientos rocosos utilizando como método el empleo de barreras con plantaciones de *Agave angustifolia*. Haw (Maguey) combinadas con piedras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se desarrolló entre los años 2013-2014 en un área de estudio conformada por calveros o afloramientos rocosos de 56 m de largo por 40 m de ancho (parcelas experimentales), lo que arrojó un área física total de 8.960,0 m². En tres parcelas experimentales fueron evaluados los dos tratamientos que conformaron la investigación.

El área se ubicó dentro de los límites de la Reserva Florística Manejada Sierra Canasta (RFM Sierra Canasta), en el lote 125 del municipio el Salvador, en la provincia de Guantánamo. Existen problemas de erosión que tienen su origen por un lado, en las características geológicas naturales de la zona y por otro, en la actividad irracional en cuanto a la deforestación, el empleo de técnicas no acordes con las condiciones naturales existentes y la falta de aplicación de medidas para la conservación de los suelos, fundamentalmente en las áreas con pendientes entre 10%-12%. Se incluye una de las canteras de la provincia que han sido mal manejadas desde el destape irracional de la capa vegetal hasta el abandono, sin la recuperación de la cubierta forestal, provocando la contaminación del aire por emisiones de humo, polvo, gases y ruido que provienen de las instalaciones industriales.

La Fig. 1 muestra las características climáticas del área objeto de estudio, para una serie de datos de tres años de evaluación sistemática (2010 a 2014) (CITMA 2015). El área se encuentra a una altitud de 250 msm y exhibe una temperatura promedio anual de 25,12°C una máxima absoluta de 27,5°C y una máxima media absoluta de 25,3°C. La temperatura máxima media registrada para esta zona es de 24,8°C, con una mínima absoluta de 20,6°C. Las precipitaciones promedio anual varían en esta zona desde 50 mm hasta 106 mm, con

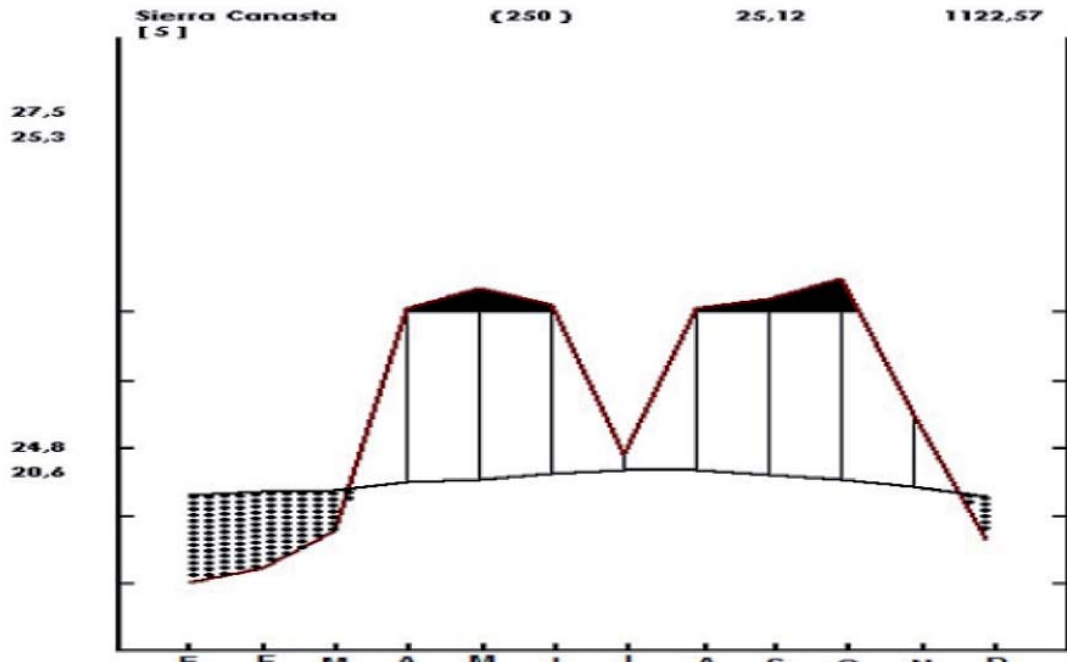


FIGURA 1. CLIMODIAGRAMA DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA UNA SERIE DE DATOS DE 4 AÑOS (2010-2014).

Climate diagram of the study area (4 year period).

una media por encima de los 100 mm, desde abril hasta junio y desde agosto hasta octubre.

Metodología

Las características morfológicas (profundidad pedológica, profundidad efectiva, grado de la pendiente, erosión hídrica, cantidad de piedras y cantidad de rocas) fueron evaluadas en tres puntos representativos del área objeto de estudio según la nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba (Hernández et al. 2006, Hernández et al. 2015).

Predomina el tipo genético de suelo Lithosoles, muy semejante a los evaluados por Tello-Crespo et al. (Resultados no publicados) en las inmediaciones del poblado de Costa

Rica. Los suelos así clasificados ocupan un área de 674,84 ha de suelos de formación primaria de muy fuerte erosión sobre rocas calizas duras. Son muy poco profundos, de excesiva pedregosidad, extremadamente rocosos y de drenaje superficial excesivo (Tabla 1).

La profundidad pedológica y la profundidad efectiva de estos suelos es inferior a 20-25 cm de profundidad, llegando en la mayoría de los puntos a ser solo superficie compacta de afloramientos rocosos de calizas duras, resultados que se corroboran con los emitidos por la Dirección Provincial de Suelos Guantánamo a través del mapa topográfico digital a escala 1:250000 de la Provincia de Guantánamo y los informes emitidos por MINAG (2012). El grado de inclinación

Indicadores	Nº de puntos			
Profundidad pedológica (cm)	5,0	0,0	0,0	7,0
Profundidad efectiva (cm)	5,0	0,0	0,0	7,0
Grado de pendiente (%)	10	12	10	10
Erosión hídrica	2*	1*	2*	2*
Drenaje (mm/h)	1*	1*	1*	1*
Cantidad de piedras (%)	3	3	3	3
Cantidad de rocas (%)	1	1	1	1
Densidad aparente (g/cm ³)	1,4	1,4	1,4	1,4

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO. La evaluación de la erosión según el Manual de suelos, 1987 es la siguiente: 1- Muy fuerte; 2- Fuerte. Drenaje: 1- Excesivo (Infiltración <1,25 mm/h). Cantidad de piedras: 3- Pedregoso (0,2 – 3%). Cantidad de rocas: 1- Extremadamente rocoso (>50%). Densidad aparente: Mediana- 1,21-1,45 g/cm³

Morphological and Physical characteristics of de area.

de la pendiente en el entorno de estudio es evaluado de fuertemente ondulado y oscila entre 10%-12%, lo que justifica en un área casi carente de cubierta protectora, los altos niveles de erosión presentes, acelerados por un drenaje excesivo que arrastra continuamente, durante el período lluvioso, cualquier producto resultante de la meteorización física y química que pueda tener lugar en tales condiciones.

Dentro de las características físicas del suelo, el drenaje fue evaluado según el Manual de interpretación de los índices fisico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos, MINAG (1984) y la densidad aparente se determinó por el método del cilindro en estufa a 105 °C por 48 horas con posterior pesado para determinar masa, según Blake & Hartge (1986).

Las determinaciones químicas y físicas de las muestras tomadas se realizaron en el laboratorio de la Dirección Provincial de Suelos. El pH fue determinado por el método del potenciómetro, los contenidos de P₂O₅ y MO por colorimetría, teniendo en cuenta para las determinaciones del fósforo asimilable, el

método de Machiguin para suelos carbonatados. Para el caso del K₂O se utilizó el método de Fotometría de llama. Para evaluar la calidad del suelo retenido contra la barrera se tomaron tres muestras compuestas, una por cada barrera establecida en cada calvero o afloramiento rocoso.

Para el estudio de la vegetación presente (Característica biológica) se levantaron ocho parcelas de 10 m por 10 m al azar en toda el área de estudio, a una distancia de 25 m entre parcelas y a tres metros de cada calvero, con el objetivo de evaluar la mayor representatividad de especies en el área cercana a cada calvero. El inventario se realizó mediante un muestreo aleatorio estratificado, según Casal y Mateu (2003).

Diseño estadístico

Para darle continuidad al trabajo comenzado en 2010 por la Estación Biológica Sierra Canasta en la RFM, se trabajó con el Manual de Procedimientos “Manejo Sostenible de Tierras” (Urquiza et al. 2011) y el Manual de Procesos y Tecnologías (Limeres et al. 2011). Primeramente, se realizó un recorrido exploratorio de la RFM precedido de un levantamiento cartográfico. Se rectificaron, con la ayuda de un caballete, las curvas de nivel en las áreas de establecimiento de las barreras combinadas, empleadas con el objetivo de reducir la velocidad del agua de escorrentía y retener las partículas de suelo arrastradas por erosión. Teniendo en cuenta la topografía homogénea del lugar, se ubicaron al azar tres parcelas en las cuales solo se observaron afloramientos rocosos de caliza dura sin ningún otro tipo de vegetación presente.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres réplicas, donde se evaluaron dos tratamientos: (a) T1 Barreras combinadas de piedra y *Agave* sp. con una longitud perma-

nente de 56 m y (b) T2 Barreras muertas con restos vegetales con una longitud permanente de 56 m.

Las barreras combinadas y muertas fueron ubicadas a la distancia de 12 m entre sí en pendientes entre 10%-12%, según la metodología de Suárez de Castro (1970). La distancia de siembra observada entre plantas en la barrera fue de ocho cm promedio.

Las variables evaluadas fueron: (a) Profundidad de la acumulación del suelo contra barrera (m): estimada al medirse la profundidad del suelo depositado y el área sobre la cual se deposita. (b) Longitud de la acumulación de suelo contra barrera (m): determinada en el área cercana a la barrera y que indicó cuán lejos la acumulación se extendió en el campo. Esta distancia (longitud) se midió en varios puntos. (c) Área transversal (m^2): se determinó multiplicando la longitud de la acumulación por la profundidad de la acumulación por $\frac{1}{2}$, teniendo en cuenta la fórmula para el cálculo del área de un triángulo. (d) Volumen acumulado (m^3): se determinó multiplicando el área transversal de cada parcela entre barreras por el largo de la barrera. (e) Área contribuidora (m^2): se determinó multiplicando el largo de la barrera por la distancia entre barreras. (f) Tasa de formación de suelo, (retenido contra la barrera) ($t\text{-ha}^{-1}$): se determinó dividiendo el volumen acumulado entre el área contribuidora. Para expresarla en $t\text{-ha-año}^{-1}$ este resultado se multiplicó por la densidad aparente del suelo y por 104. El resultado obtenido se dividió por los años de establecido el experimento.

Estimación de las diferentes etapas del proceso de retención de suelo.

En los afloramientos rocosos se realizaron dos series de mediciones en la masa de suelo acumulada detrás de cada barrera: una entre los meses de enero y febrero del año 2013, en

la época de máxima sequía y la otra en igual período de 2014 para evaluar el suelo retenido contra la barrera, en función de la rehabilitación de las áreas.

Para la evaluación de la efectividad de las barreras se tomaron cinco mediciones por cada barrera. En la investigación se comprobaron los postulados estadísticos Aditividad de Efectos e Incorrección de Errores como parte del diseño de los tratamientos y la toma de datos. A los resultados obtenidos se le realizaron los tests de Normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y Homogeneidad de Varianza (Levene test) (Di Rienzo et al. 2005; Vázquez 2011). Luego se realizó el análisis ANOVA simple para determinar diferencias entre los tratamientos para el valor de $p \leq 0,05$. La representación de la información se realizó con los datos promedios de cada variable. En el análisis se empleó el paquete estadístico STAGRAPHIS, versión 5,1.

Para la valoración económica del empleo de barreras combinadas de piedras y *Agave angustifolia* Haw se determinó el costo de las materias primas y materiales empleados en el área entre los que se contaron los siguientes: rajones de piedras como soporte de las barreras, plantas de maguey moteadas del área, machetes, limas, guantes, materia orgánica para la plantación de las posturas y combustible para el movimiento interno en el acarreo de posturas de maguey y rajones hasta el área de conservación. Se determinaron los gastos de la fuerza de trabajo que incluyó: Gastos en salario (por colocación de rajones, aplicación de materia orgánica, moteo de posturas y finalmente su plantación), Vacaciones, Contribución social e impuestos por la utilización de la fuerza de trabajo Se tuvieron en cuenta además los gastos indirectos de producción, gastos generales y administración, gastos en la elaboración del proyecto, el seguro Forestal, el costo tecnológico total y la bonificación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas y biológicas

Para evaluar la calidad del suelo retenido contra la barrera se tomaron tres muestras compuestas con la ayuda de un pico, una por cada barrera establecida en las tres réplicas, las que fueron colocadas en bolsas de nylon debidamente identificadas. Las muestras fueron tomadas en la época de máxima sequía de los dos años evaluados a la profundidad de acumulación de los sedimentos, la cual osciló hasta los 10-15 cm. Por los resultados obtenidos el pH del suelo acumulado tuvo un comportamiento neutro (6,0-7,0) en todas las muestras analizadas, lo que se explica por el grado de basicidad de las partículas retenidas contra la barrera, desprendidas de las rocas calizas duras, rocas de gran resistencia a la meteorización física, pero solubles a la

acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentran aciduladas por el ácido carbónico), según criterios de Cairo & Fundora (2005). Los contenidos de fósforo y potasio asimilables en las muestras evaluadas oscilaron en los rangos de bajo a muy bajo (entre 1,5-3,0 mg/100 g y menor de 1,5 mg/100 g de suelo para el fósforo y entre 20-30 mg/100 g y menor de 20,0 mg/100 g de suelo para el potasio, según MINAG (1984), mientras que los contenidos de materia orgánica, según la misma fuente, fueron altos en todas las muestras analizadas (4,1-6,0%), estableciéndose una relación muy estrecha a nuestro juicio, entre los residuos orgánicos de la vegetación circundante analizada anteriormente y los contenidos de MO en el suelo que se retiene contra las barreras fomentadas.

La Tabla 2 se constituye en una representación de las principales especies que crecen cercanas al área objeto de estudio, las cuales inciden de manera directa en los contenidos

Nombre Científico	Nombre vulgar	Calvero 1			Calvero 2			Calvero 3			Calvero 4		
		P1	P2	Total	P3	P4	Total	P5	P6	Total	P7	P8 Total	
<i>Calycophyllum condidissimum</i> Vahl.	Dagame	10	13	23	8	16	24	7	11	18	6	-	6
<i>Commeliana difusa</i> Burm.f.	Canutillo	5	9	14	14	11	25	13	8	21	18	15	33
<i>Dipholis cubensis</i> Griseb.	Cuya	13	6	19	9	8	17	9	6	15	4	2	6
<i>Cassia biflora</i> Lam.	Carbonero	4	-	4	2	2	4	-	-	-	3	2	5
<i>Bursera simaruba</i> L.Sarg.	Almácigo	9	13	22	6	2	8	5	3	8	9	4	13
<i>Leucaena leucocephala</i> L.	Ipil Ipil	38	23	61	52	24	76	22	48	70	50	18	68
<i>Cochlospermum vitifolium</i> Willd.	Botijo	-	3	3	1	-	1	2	4	6	-	-	-
<i>Cordia collococa</i> Lam.	Ateje	5	8	13	-	-	-	-	1	1	-	-	-
<i>Comocladia dentata</i> Jacq.	Guao	12	18	30	11	13	24	12	29	41	38	24	62
<i>Nectandra coriacea</i> Griseb.	Sigua	7	4	11	-	2	2	1	-	1	-	3	3
<i>Chrysophyllum oliviforme</i> Lam.	Caimitillo	2	9	11	6	12	18	22	11	33	16	8	24
<i>Oxandra lanceolata</i> Brail.	Yaya	-	-	-	5	3	8	-	3	3	5	-	5
<i>Glicicidia latifolia</i> Griseb.	Frijolillo	13	7	20	3	8	11	11	4	15	18	11	29
<i>Clusia rosea</i> Jacq.	Cupey	3	-	3	-	1	1	3	4	7	-	2	2
<i>Colubtina ferruginosa</i> Brongn.	Fuego	7	13	20	9	16	25	28	13	41	28	13	41
<i>Ceratopyxis verbenacea</i> Grises.	Cuaba	8	3	11	2	-	2	2	6	8	-	-	-
<i>Rhedia polyneura</i> L.	Manajú	-	-	-	-	3	3	2	4	6	-	3	3
<i>Laetia ternstroemioides</i> Grises.	Guaguasí	4	5	9	-	1	1	-	3	3	-	-	-
<i>Conocarpus erecta</i> L.	Yana	-	-	-	3	2	5	2	1	3	-	-	-
<i>Acacia farnesiana</i> Willd.	Aroma Amarilla	14	9	23	13	17	30	26	32	58	38	22	60
<i>Zanthoxylum martinicense</i> Lam.	Ayúa	4	14	18	11	9	20	13	2	15	16	8	24
<i>Guazuma tomentosa</i> Humb.	Guásima	3	7	10	3	1	4	11	8	19	13	2	15
<i>Agave angustifolia</i> Haw	Maguey	63	30	93	31	28	59	24	43	67	38	28	66

TABLA 2. VEGETACIÓN CIRCUNDANTE AL ÁREA DE ESTUDIO. P= Parcela.

Surrounding vegetation to the studied area.

de materia orgánica del suelo retenido sobre los afloramientos rocosos y en el resto de las características físico-químicas de los mismos. Se pudo observar que la mayor representatividad vegetacional en las parcelas levantadas a tres de distancia de cada calvero (32,6%) se obtuvo con el *Agave angustifolia* Haw, al estar representado por 93 individuos de un total general de 285 en las parcelas levantadas. En el resto de los calveros u afloramientos rocosos, la especie de mayor representatividad fue *Leucaena leucocephala* L con 214 individuos totales.

Estimación de las diferentes etapas del proceso de retención de suelo en afloramientos rocosos

Profundidad y longitud media de acumulación de suelo

Según experiencias de Copello & Samón (2014) en áreas de la RFM Sierra Canasta, la combinación de rocas y plantas asociadas a un ecosistema degradado de suelos secos y con afloramiento rocoso, permite un incremento de la concentración de humedad en la roca madre y el comienzo de un proceso de formación de suelo unido a la proliferación de microorganismos beneficiosos. Tomando en cuenta lo anterior y el hecho que *Agave angustifolia*, Haw presenta raíces superficiales que se desarrollan bien en terrenos carentes de suelo y que, a su vez, por las características de su sistema radical, es capaz de retener partículas en suspensión en las aguas de escorrentía y con ello evitar la erosión hídrica, se le dio continuidad a esa investigación iniciada en 2010. Los valores de la profundidad de la capa de suelo acumulado es un indicador normal que está en correspondencia con el nivel de suelo retenido contra la barrera, sobre el otro lado de la acumulación. La varia-

ble longitud de la acumulación, por su parte, indica cuán lejos se extiende en el campo la acumulación de suelos contra la barrera. Son variables dependientes una de otras.

La Fig. 2 y 3 muestran la profundidad media de la capa de suelo que se acumula contra las barreras, sobre los afloramientos rocosos estudiados. Se observa un incremento paulatino de ésta variable de un año a otro en los tratamientos donde fueron establecidas barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* Haw, con valores que van desde 0,038 m (3,8 cm) en el año 2013 hasta 0,058 m (5,8 cm) en el año 2014. En el testigo, donde fueron establecidas barreras muertas con restos forestales, se observa una ligera acumulación que se concentra regularmente en las irregularidades de la superficie del afloramiento rocoso. La mayor cantidad de sedimentos, productos resultantes de la meteorización química y física a la que está expuesta esta masa de rocas, se acumulan libremente fuera de los límites del afloramiento rocoso, junto a restos orgánicos de la vegetación circundante y restos descompuestos de las barreras muertas.

Telo-Crespo & Lugo (2014) al evaluar la profundidad de la capa de suelo acumulada en tres tratamientos para dos años, en un suelo Pardo sialítico carbonatado, no observó diferencias significativas entre dos de los tratamientos analizados.

Al comparar barreras de caña a 16 m entre barreras con 50 m de largo por la configuración del terreno en pendientes entre 7 y 9%, la profundidad del suelo acumulado no hubo diferencias significativas para $p \leq 0,05$. Igual tendencia observó en barreras de kingrass a 24 m entre barreras con 100 m de largo en pendientes entre 5 y 7%, pero demostró, que las barreras vivas ubicadas en estas condiciones, no propiciaron mayores acumulaciones de suelo, pero si evitaron un mayor arrastre del mismo, contrario a lo que se observa en

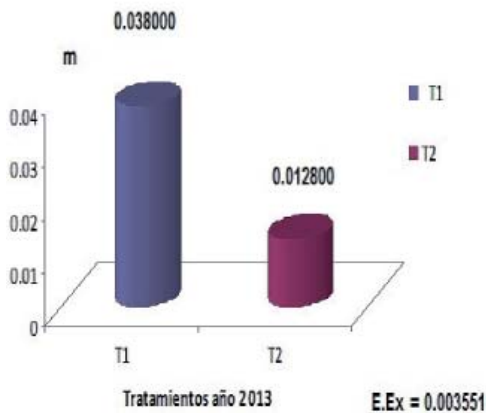


FIGURA 2. DINÁMICA DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE ACUMULACIÓN DE SUELO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2013 EN m.

Half depth dynamycs of soilaccumulation on rocky outcrop plots in the MFRR Sierra Canasta (year 2013).

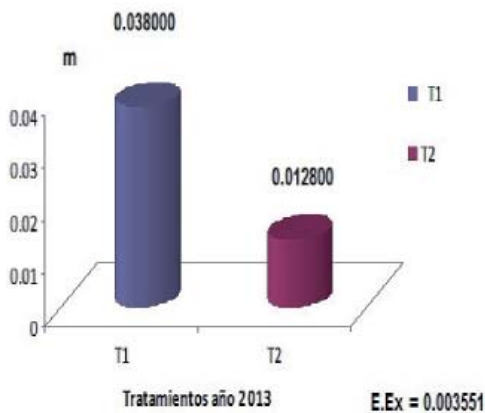


FIGURA 3. DINÁMICA DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE ACUMULACIÓN DE SUELO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN m.

Half depth dynamycs of soilaccumulation on rocky outcrop plots in the MFRR Sierra Canasta (year 2013).

nuestros experimentos, donde si existe un incremento creciente de las acumulaciones y por lo tanto una mayor retención tras la barrera y sobre el afloramiento rocoso en T1.

Al evaluar, sin embargo, los dos otros tratamientos (barreras de piña y caña a 25 m entre barreras con 100 m de largo en pendientes del 4% y barreras de caña a 34 m entre barreras con 100 m de largo en pendientes inferiores al 4%) observó una profundidad de la capa de suelo acumulado superior, sobre todo en el último año.

Es importante resaltar que las mayores cantidades de suelo acumulado se encontraron en éstos dos últimos tratamientos con diferencias significativas para ambos periodos de estudio, con respecto al resto de los tratamientos, lo cual demuestra su eficiencia a pesar del menor grado de pendiente. En este sentido se encuentra correspondencia con los resultados obtenidos en nuestra investigación.

En la Fig. 4 se observa una dinámica mejor definida de la longitud media de la capa de suelo acumulado contra las barreras en los afloramientos rocosos estudiados, referida a la profundidad media de acumulación de suelo en el experimento, de la cual es variable dependiente. La longitud media asciende significativamente de 0,82 m en el año 2013 hasta 1,05 m en el 2014 como se muestra en la Fig. 5, contra un testigo que presentó valores de longitud media muy reducidos de solo 0,006 m (6,0 cm), aspecto este lógico, si se toma en cuenta que aquí han sido evaluadas parcelas donde se han establecido barreras muertas, y donde el agua de arrastre conteniendo sedimentos ha sido retenida en menor escala, depositándose más allá de los límites de la parcela.

Bajo condiciones de suelos muy diferentes (suelos sialíticos muy evolucionados) Telo-Crespo et al. (Resultados no publicados) demostraron que en el primer año de

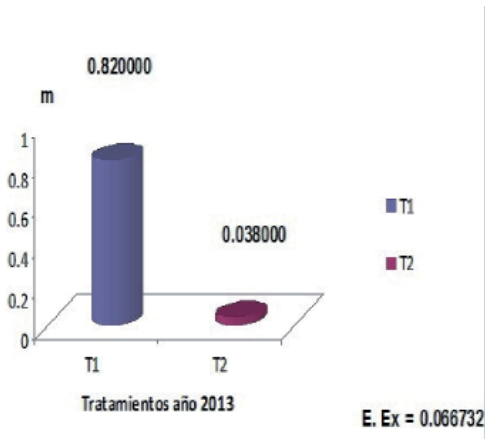


FIGURA 4. DINÁMICA DE LA LONGITUD MEDIA DE ACUMULACIÓN DE SUELO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2013 EN m.

Half-length dynamics of soil accumulation on rocky outcrop plots in the MFR Siena Canasta (year 2013).

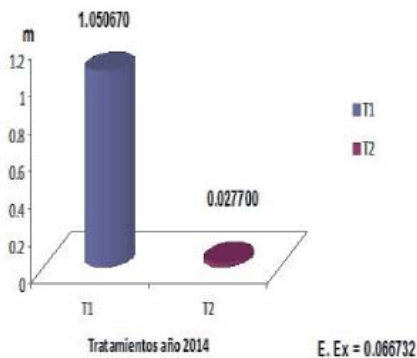


FIGURA 5. DINÁMICA DE LA LONGITUD MEDIA DE ACUMULACIÓN DE SUELO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN m.

Half-length dynamics of soil accumulation on rocky outcrop plots in the MFR Siena Canasta (year 2014).

observación la longitud de la capa de suelo acumulada era comparativamente superior al segundo año en todos los tratamientos estudiados, tendencia cercana a la observada en los análisis que se muestran, donde el incremento de la variable longitud de la capa de suelo acumulada es paulatino de un año a otro a pesar de acusar grados de pendientes ligeramente superiores.

Entre los tratamientos con barreras mucho más densas (piña y caña a 25 m entre barreras) no existieron diferencias significativas para $p \leq 0.05$, y si, con el resto de los tratamientos, lo cual se ajusta a la composición de las barreras y a las pendientes del terreno para cada tratamiento, como se muestra en el ejemplo que se analiza.

Según Urquiza et al. (2011) la longitud de la capa de suelo acumulada se determina evaluando un número determinado de puntos (no menos de cinco puntos), pero puede ser que la intensidad de la lluvia caída, la velocidad del agua que se escurre y su volumen, respecto al grado de cobertura existente en el lugar y la topografía, sean lo que propicie la diferencia entre los tratamientos y la disminución de la longitud de acumulación de un año a otro.

El propio autor reconoce que el periodo vegetativo del material a utilizar, debe caracterizarse por un crecimiento denso, no competitivo con el cultivo principal y lo más importante, que tenga una entrada complementaria en el sistema de producción, aspectos que también se logran en la experiencia que mostramos.

Conformación del área transversal y los volúmenes de suelo

Para el cálculo del área transversal se tomó en cuenta la fórmula para la determinación del área de un triángulo, es decir, el semiproducto entre la longitud de una base (longitud de la acumulación de la capa de suelo) y la altura

relativa a ésta (profundidad de acumulación), según (Urquiza et al. 2011). En las Fig. 6 y 7 se observan diferencias significativas entre el tratamiento T1 en 2013 y en 2014, con un aumento sostenido del área transversal sobre los afloramientos rocosos estudiados contra valores muy cercanos a cero para el caso del tratamiento testigo. Por ser variables dependientes una de otras se sigue observando una misma dinámica entre los años, que se agrava respecto al testigo ubicado en parcelas de afloramiento rocoso donde han sido empleadas barreras muertas y donde la relación que se establece entre la longitud del suelo acumulado y la profundidad que logra el suelo acumulado es muy estrecha.

Al comparar los resultados que se obtienen en la experiencia que se muestra, con los obtenidos por Telo-Crespo & Lugo (2014) en condiciones menos extremas utilizando barreras de caña y barreras de kingrass, lograron retener mayor cantidad de sedimentos e influir de una manera más positiva en la conformación del área transversal de los experimentos mostrados.

El volumen de suelo acumulado contra la barrera es también una variable dependiente del área transversal y es derivada de la multiplicación de ésta por el largo de la barrera, lo que se observa en las Fig. 8 y 9 donde se muestra el volumen de suelo acumulado en los afloramientos rocosos para el primer y segundo años de estudio (0,77 m³ contra 1,73 m³) y el testigo (0,0043 m³). Como en los análisis anteriores, se muestran diferencias significativas entre los años que se comparan y el tratamiento que se muestra como testigo. Un análisis comparativo de los resultados obtenidos en estos experimentos con los obtenidos en experimentos llevados a cabo en áreas del Polígono Antierosivo de Tumbalabana por Telo-Crespo & Lugo (2014), muestra en aquellos, un volumen acumulado significativo, resultante de la acción protectora de las

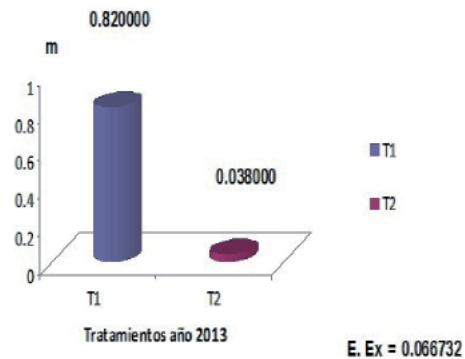


FIGURA 6. DINÁMICA DE LA CONFORMACIÓN DEL ÁREA TRANSVERSAL SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2013 EN ml.

Dynamics of transverse area conformation on rocky outcrop plots in the MFR Siena Canasta (year 2013),

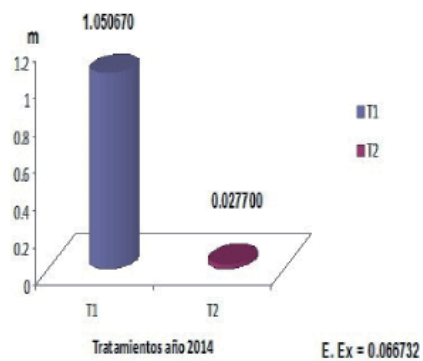


FIGURA 7. DINÁMICA DE LA CONFORMACIÓN DEL ÁREA TRANSVERSAL SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN ml.

Dynamics of transverse area conformation on rocky outcrop plots in the MFR Siena Canasta (year 2014),

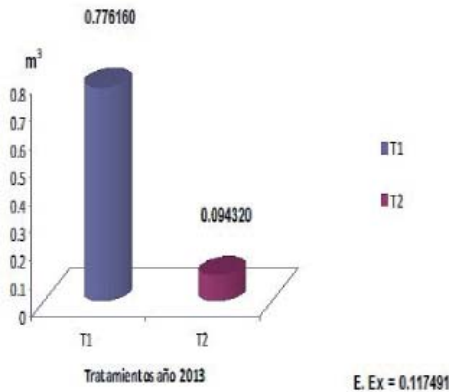


FIGURA 8. DINÁMICA DEL VOLUMEN DE SUELO ACUMULADO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN m³.

Dinamics of accumulated soil volume by the barrier on rocky outcrop plots in the MFR Sierra Canasta (year 2013).

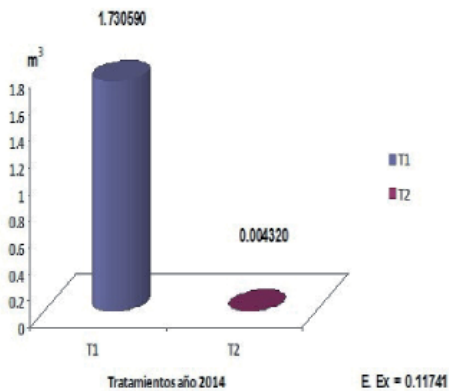


FIGURA 9. DINÁMICA DEL VOLUMEN DE SUELO ACUMULADO SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN m³.

Dinamics of accumulated soil volume by the barrier on rocky outcrop plots in the MFR Sierra Canasta (year 2013).

barreras de piña y caña a 25 m, kinggrass a 24 m y caña a 16 m, tanto para el primer año de la evaluación como para el segundo. Similar condición fue observada en T1 para los años 2013 y 2014 en todas aquellas parcelas en las cuales, sobre afloramientos rocosos, fueron establecidas barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* Haw.

Suelo retenido contra la barrera

En los tratamientos analizados para evaluar la cantidad de suelo retenido contra la barrera sobre parcelas de afloramientos rocosos, la dinámica de los resultados logrados no difirió de la anteriormente obtenida en éste análisis para las variables de las cuales este parámetro es dependiente (Fig. 10 y 11). La máxima retención de suelo contra la barrera se observó en el año 2014 (37,08 t-ha⁻¹) por ser un proceso acumulativo y progresivo iniciado con las mediciones efectuadas en 2013 donde se alcanzan 16,17 t-ha⁻¹ como valor inicial. Los valores para esta variable que muestra el tratamiento evaluado como testigo (0,037 t-ha⁻¹), son en extremo reducidos por cuestiones que han sido ya explicadas: la presencia de barreras muertas no logra retener con eficiencia los sedimentos que como productos resultantes de la meteorización química y física a la que está expuesta esta masa de rocas, se acumulan con cierto margen de libertad fuera de los límites del afloramiento rocoso, junto a restos orgánicos de la vegetación circundante y de la propia barrera muerta.

Telo-Crespo & Lugo (2014) describen similar dinámica al evaluar la cantidad de suelo retenido contra barreras de diferentes especies y sus combinaciones, asociándola a un control efectivo de las mismas, las cuales han sido plantadas contra el fenómeno de la escorrentía y la erosión de sólidos presentes en el área del experimento.

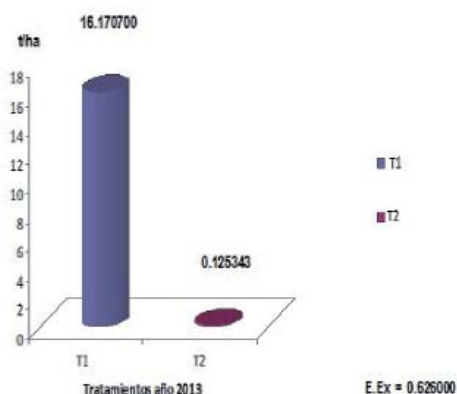


FIGURA 10. DINÁMICA DEL VOLUMEN DE SUELO RETENIDO CONTRA LA BARRERA SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2013 EN t/ha.

Dinámica del volumen de suelo retenido por la barrera sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta (año 2013).

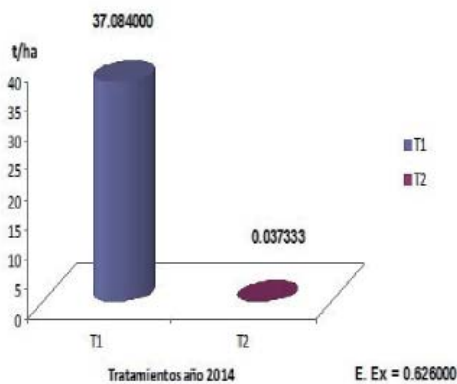


FIGURA 11. DINÁMICA DEL VOLUMEN DE SUELO RETENIDO CONTRA LA BARRERA SOBRE PARCELAS DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS EN LA RFM SIERRA CANASTA PARA EL AÑO 2014 EN t/ha.

Dinámica del volumen de suelo retenido por la barrera sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta (año 2014).

Resultados semejantes fueron alcanzados por Riverol et al. (2015) y Pedrique (2013). Los primeros autores, al lograr atenuar los procesos erosivos con el incremento de medidas sencillas de conservación de suelos y de acondicionamiento en unidades productivas, así como el mantenimiento periódico de medidas antierosivas de carácter permanente: muros de piedra al contorno, terrazas niveladas, terrazas individuales y barreras vivas con especies forestales; el segundo autor citado, al obtener el mejor control de la erosión en las áreas deforestadas de un sistema agroforestal con el uso de barreras de Ananas comusus Merr. y Vetiveria zizanioides BORY a 52%, 47%, 38% y 32 % de pendiente, respectivamente.

Suelo acumulado fuera de los límites del afloramiento rocoso

Según Dorronsoro (2004), a través del relieve se produce el transporte de todo tipo de materiales que se trasladan pendiente abajo por la acción de la gravedad, por lo que, dependiendo de su posición en el paisaje, el suelo se puede ver sometido a acciones de erosión o de acumulación. Es por ello que en las zonas altas el suelo está sometido a una intensa erosión, sobre todo en las áreas en que se presentan fuertes inclinaciones, es por ello que la posición que define el relieve se considerará residual y estará conformada por suelos mayormente esqueléticos o poco evolucionados.

En la Tabla 3 puede observarse la dinámica de un grupo de variables relacionadas con el movimiento de los sedimentos que han sido arrastrados y posteriormente depositados fuera del límite de las parcelas en estudio, en las cuales no fueron establecidas barreras combinadas de piedras y *Agave angustifolia* Haw para poder evaluar la acumulación de los mismos por influjo de las aguas de esco-

Variables analizadas	Fuera de los límites del afloramiento rocoso	
	Valore	E. Ex
Profundidad media (m)	0,166	0,0034
Longitud media (m)	2,541	0,0267
Área transversal (m ²)	0,212	0,0047
Volumen de suelo acumulado (m ³)	11,871	0,2870
Suelo acumulado fuera de los límites (t/ha)	98,927	0,9224

TABLA 3. DINÁMICA DE LOS SEDIMENTOS ACUMULADOS MÁS ALLÁ DE LOS LÍMITES DE LAS PARCELAS.

Dynamics of accumulated silts beyond plots limits.

rentía, sino que fueron evaluadas sobre la base del grado de retención que podía lograrse con la aplicación de medidas sencillas de conservación de suelo que venía implementando la entidad.

Todos los valores que se muestran en esa tabla: profundidad media de acumulación de suelo, longitud media de esa acumulación, área transversal y volumen total de suelo acumulado), acusan valores altos de suelo (98.927 t-ha⁻¹) que se retienen fuera de los límites de la parcela debido a la escasa existencia de obstáculos que puedan entorpecer el libre flujo de las aguas de escorrentía cargadas de sedimentos.

Según Ogura & Soares (2009) y García-Chevesich (2015) el agua de lluvia provoca la erosión del suelo por el impacto de las gotas que caen con velocidad y energía variables sobre su superficie, y a través del escurrimiento del torrente. La magnitud de su acción erosiva depende de la intensidad pluvial y la energía cinética, según Febles & Durán (2006). En el entorno de la investigación las precipitaciones promedio anual varían en esta zona desde 50 mm hasta 106 mm, con una media por encima de los 100 mm, desde abril hasta junio y desde agosto hasta octubre, lo que justifica que los volúmenes de acumu-

lación evaluados no resultaran mayores (Ver Fig. 1).

Valoración económica del empleo de barreras de piedras y A. angustifolia

En la Tabla 4 se presenta el comportamiento de los costos unitarios por elementos para una hectárea de conservación de suelos por cada método aplicado. El resultado de las variaciones refiere que el nuevo método aplicado registró un ahorro de \$3,11-ha⁻¹ debido a la disminución de los gastos de la fuerza de trabajo, ya que en la conservación tradicional los mismos aumentan ligeramente hasta un 3% por la conformación de las barreras muertas.

Conceptos	Conservación	Conservación	Variación
	Tradicional	Nueva	
Materias primas y materiales	5,89	5,89	0,00
Gastos de la fuerza de trabajo	101,80	98,69	-3,11
Salarios	73,19	70,95	-2,24
Vacaciones	6,65	6,45	-0,20
Contribución Social	9,98	9,68	-0,30
Impuesto por la utilización de la fuerza de Trabajo	11,98	11,61	-0,37
Gastos indirectos de producción	518,80	518,80	0,00
Gastos generales y administración	644,02	644,02	0,00
Gastos en la elaboración del proyecto	180,05	180,05	0,00
Subtotal de Gastos	1.450,56	1.447,45	-3,11
Seguro Forestal	-	94,08	94,08
Costo tecnológico total	1.450,56	1.541,53	90,97
Bonificación	435,168	462,46	27,29
Total a certificar	1.885,73	2.003,99	118,26

TABLA 4. ANÁLISIS DE LOS COSTOS POR HECTÁREA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS CON LA APLICACIÓN DE BARRERAS COMBINADAS DE PIEDRA Y AGAVE ANGUSTIFOLIA. HAW.

Per-hectare soil conservation costs analysis of stone and *Agave angustifolia*. Haw combined barriers application.

A nivel de costo tecnológico total el nuevo método aplicado registró un incremento de \$90,97-ha⁻¹ debido a que en el método tradicional no se incluyen los gastos del seguro estatal, lo cual constituye una violación de

lo establecido según la Resolución conjunta 1/2012 que establece que todas las actividades para poder recibir crédito bancario y luego financiamiento del Fondo Nacional de Desarrollo Forestal (FONADEF), deben estar aseguradas por la Empresa Nacional de Seguro (ESEN); no obstante este incremento del costo tecnológico no implica disminución de los ingresos a percibir por concepto de bonificación los cuales se incrementan en \$118,26-ha⁻¹.

El incremento experimentado en el costo tecnológico total del nuevo método aplicado (6%) no es significativo monetariamente respecto al método tradicional pero sí lo es desde el punto de vista medioambiental, ya que asegura con garantías la supervivencia de la nueva plantación realizada.

LITERATURA CITADA

- BLAKE G R & K H HARTGE (1986) Bulk density In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9: 363–375. ASA and SSSA, Madison, WI.*
- CAIRO PC & OH FUNDORA ed (2005) *Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Segunda edición corregida y ampliada. La Habana. 474 pp.*
- CASAL J & E MATEU (2003) Tipos de muestreo *Revista Epidemiológica Medicina Preventiva* 1: 3-7.
- CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente) (2015) Delegación provincial Guantánamo. Centro Meteorológico Provincial. Informe de metodología y series de datos empleados.
- COPELLO LP & JR SAMÓN (2014) Medidas de recuperación de suelo en la RFM Sierra Canasta. Ministerio de la Agricultura. Empresa de Flora y Fauna. Unidad Sierra Canasta. Guantánamo.
- DI RIENZO A, F CASANOVES, A GONZÁLEZ, M TABLADA, M DÍAZ, W ROBLEDO & G BALZARINI ed (2005) *Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Sexta Edición. Córdoba Argentina. 345 pp.*
- DORRONSORO C (2004) *El suelo: concepto y formación. Disponible en: <http://www.edafologia.net/introeda/tema01/indice.htm> [Consultado: el 19 de abril de 2015]*
- DUQUE-ESCOBAR G (2016) *Manual de Geología para ingenieros. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 184 pp.*
- FAO (2008) *Boletín de Tierra agua de la FAO No.8. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Disponible en: <http://www.fao.org/documents> [Consultado: el 9 de febrero de 2015]*
- FEBLES JG & J A DURÁN (2006) *Manual de erosión y conservación de suelos. Editorial Félix Varela, La Habana. 447 pp.*
- GARCÍA-CHEVESICH P (2015) *Control de la erosión y recuperación de suelos degradados. Editorial OutsKirts Press Robbin B. Sotir & Associated, Inc. United States of America. 469 pp.*
- GUARAT R F, G BEGUÉ-QUIALA, R L VILLAVERDE, H M PÉREZ, B L ZABALA, R R UBALS, A T MEDINA & O G BARNES (2011) *Plan de Manejo 2012-2016 Reserva Florística Manejada Sierra Canasta. Sistema Nacional de Áreas Protegidas, CITMA: 4-5*
- GUERRA-GARCÍA J A, C D ARBELO & A RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ (2014) Caracterización de los suelos del monteverde mediante secuencias edáficas evolutivas y regresivas. *Journal of Soil Science* 4(1): 19-50.
- HERNÁNDEZ A, J M PÉREZ, D I BOSH & N S CASTRO ed (2015) *Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA, La Habana. Cuba. 93 pp.*
- HERNÁNDEZ A, O ASCANIO, M MORALES & A LEÓN ed (2006) *La Historia de la clasificación de los Suelos en Cuba. Editorial Félix Varela. La Habana. 98 pp.*
- LIMERES TJ, OE BORGES, FM DURAN, AJ LEYVA, EV MUÑOZ & LMMORA ed (2011) *Manual de Procesos y Tecnologías. Agricultura y Manejo Sostenible de Recursos Naturales en Áreas Protegidas. Editora Agroecológica. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF). Proyecto CUB 1033.*

- MINAG (Ministerio de la Agricultura) (2012) Plan de Manejo de Sierra Canasta. Delegación Provincial de la Agricultura. Empresa Flora y Fauna. Guantánamo.
- MINAG (Ministerio de la Agricultura) ed (1984) Manual de interpretación de los suelos. Editorial científico-Técnica, Ciudad de La Habana.
- OGURA A & E SOARES (2009) Procesos y riesgos geológicos. División de Geología Instituto de Investigaciones Tecnológicas de São Paulo- IPT. II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental.
- ORTIZ R S (2015) Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. Revista Eubacteria. Cien años de avances en ciencias de la vida. 34: 51-64.
- PEDRIQUE P (2013) Diseño de una estrategia sostenible en áreas erosionadas de un sistema agroforestal cacaotero intervenido en el asentamiento campesino “La Paraulata”, municipio Acevedo. Estado Miranda. Tesis en opción al título académico de Máster en Ciencias. Convenio de Cooperación Integral Cuba-Venezuela. Ministerio de Educación Superior. Universidad de Guantánamo.
- RIVEROL M R, N P CASTELLANOS, F V PEÑA & A S FUENTES A & O MARTÍNEZ (2015) Programa nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. AGRINFOR. Ciudad de La Habana, Cuba. 39 pp.
- SÁNCHEZ-ESPINOSA J A & Y S RUBIANO (2015) Procesos específicos de formación en Andisoles, Alfisoles y Ultisoles en Colombia. Revista de la Escuela de Ingenieros de Antioquia 12(2): 85-97.
- SPALLETTI L A (2007) Meteorización (Intemperismo). Cátedra de Sedimentología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- SUÁREZ DE CASTRO F ed (1970) Conservación de Suelos. Ediciones Revolucionarias, La Habana.
- TELO-CRESPO L & D LUGO (2014) Efecto de las barreras vivas como medidas de conservación en suelos de la Finca. No.1 de la CCS Mariana Grajales. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad Agroforestal. Universidad de Guantánamo.
- URQUIZA M, C ALEMÁN, L FLORES, R PAULA & Y AGUILAR ed (2011) Manual de procedimientos Manejo Sostenible de Tierras. Primera edición. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura, Agrinfor, La Habana, Cuba.
- VÁSQUEZ R (2011) Contribución al tratamiento estadístico de datos con distribución binomial en el modelo de análisis de varianza. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INCA. 97 pp.

Recibido 29/03/2016; aceptado 19/12/2016