

Barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* L para la retención de suelos en afloramientos rocosos

Combined barriers of stones and *Agave angustifolia* L in the evaluation of soil formation in rocky outcrop

Lázaro Francisco Telo Crespo¹

Departamento de Ciencias Forestales, Profesor Auxiliar. Universidad de Guantánamo. Cuba. Correo electrónico: lazarot@cug.co.cu

Recibido: 29 de marzo de 2017.

Aprobado: 31 de agosto de 2017.

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 (nombre común, 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

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

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 estas 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.

(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

Según criterios de Hernández *et al.* (2015) el suelo se concibe como un cuerpo natural que se forma en relación estrecha con el medio y adquiere propiedades y características debido a la interrelación de los factores y procesos que inciden en su formación.

Valle y Ortega (2010) refieren que en la fase final la transformación es tan intensa que el material adquiere una morfología propia. Las movilizaciones de sustancias adquieren en esta fase un papel predominante: se forma el suelo.

En este contexto, García-Chevesich (2015) 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 kilómetros cuadrados de tierras agrícolas,

mientras que casi 800 mil kilómetros cuadrados de tierras áridas corren peligro de desertificarse por un exceso de pastoreo y de explotación de la vegetación para uso doméstico, por deforestación y por utilización de métodos inadecuados de manejo.

Un análisis detallado de los resultados obtenidos en los mapas de suelos de Cuba, a escala 1:50 000 y 1:25 000, indica que el 74% de los suelos del país resultan poco, o muy poco productivos. Del área total de suelos estudiados, el 48,8% son suelos de baja fertilidad natural y el 69,6% muestran bajos contenidos de materia orgánica, mientras que un 43,3% de ellos presentan erosión de fuerte a media (Soca *et al.*, 2008).

A criterios de Martín y Abad (2011), ante esta situación, se hace necesario establecer sistemas de manejo en 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. En ese contexto, pretendemos, como objetivo general, evaluar la retención de suelos en afloramientos rocosos de la Reserva Florística Manejada (RFM) Sierra Canasta con el empleo de barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia*. Haw (Maguey).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del área de estudio dentro de la RFM Sierra Canasta

La experiencia investigativa fue desarrollada entre los años 2013-2014 en la Reserva Florística Manejada Sierra Canasta (RFM Sierra Canasta), en el lote 125 del municipio El Salvador, en la provincia de Guantánamo. Geomorfológicamente se asienta en la unidad regional natural antrópica Región Oriental, Gran meseta de Guantánamo, Sierra Canasta.

Caracterización del entorno investigativo

El área donde se circunscribe la investigación (Unidad 2. Ladera de la Meseta), manifiesta condiciones internas medianamente estables ante los factores externos de riesgo, lo que, de igual forma, debe servir de alerta sobre las limitadas condiciones del uso de la misma.

Existen problemas de erosión que tienen su origen; por un lado, en las

características 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 de mayor pendiente. Se incluye una de las canteras de la provincia que ha sido mal manejada 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.

Caracterización climática

Para la caracterización climática del área objeto de estudio, se tomó una serie de datos de cuatro años de evaluación sistemática (Año 2010 hasta el 2014), tomada en CITMA (2015).

El área se encuentra a una altitud de 250 msnm 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 una media por encima de los 100 mm., desde abril hasta junio y desde agosto hasta octubre.

Metodología empleada para el desarrollo del experimento

Determinación de las características físicas, químicas y biológicas del área objeto de estudio

Para la evaluación de las características físicas y químicas, se tomaron cuatro puntos representativos del área objeto de estudio, los cuales fueron descritos y evaluados según la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.* 2015).

Para evaluar la calidad del suelo retenido contra la barrera, se tomaron tres muestras complejas, una por cada barrera establecida en cada calvero o afloramiento rocoso.

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 y se utilizó la relación suelo-solución 1:1 en solución de KCl. Los contenidos de P_2O_5 y MO fueron determinados por colorimetría, teniendo en cuenta para las determinaciones del fósforo asimilable el método de Machigin para suelos carbonatados (Este método se utiliza para suelos con pH mayor de 6.5.). Para determinar el fósforo asimilable se pesaron 5 g. de suelo tamizados a través de una malla de 2 mm.; se vertieron en un recipiente de 150 ml. de capacidad y se le añadieron 100 ml. de la solución extractiva.

Para el caso del K_2O , se utilizó el método de Fotometría de llama. La densidad aparente de los suelos fue determinada para una sola muestra representativa del lugar, teniendo en cuenta la masa seca de la muestra de suelo tomada y el volumen

conocido de un cilindro según la fórmula $Da = m/Nv$.

Para el estudio de la vegetación presente (característica biológica), se levantaron dos parcelas de 10m. por 10m., cercanas a cada uno de los afloramientos rocosos estudiados, para un total de ocho, con el objetivo de evaluar la mayor representatividad de especies en el área cercana a cada calvero.

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

Para darle continuidad al trabajo comenzado en 2010 por la Estación Biológica Sierra Canasta, 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).

Previo a su empleo, se realizó un recorrido exploratorio de la zona, 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 cuatro 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:

T1 Barreras combinadas de piedra y *agave sp.*, con una longitud permanente de 56 metros, a la distancia anteriormente señalada.

T2 Barreras muertas con restos vegetales.

Las barreras combinadas y muertas fueron ubicadas a la distancia de 12 metros 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 8 cm. promedio.

Variables evaluadas

- Profundidad de la acumulación del suelo contra barrera, estimada al medirse la profundidad del suelo depositado y el área sobre la cual se deposita.
- Longitud de la acumulación de suelo contra barrera, 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.
- Área transversal en m². 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.
- Volumen acumulado en m³. Se determinó multiplicando el área transversal de cada parcela entre barreras por el largo de la barrera.
- Área contribuidora en m². Se determinó multiplicando el largo de la barrera por la distancia entre barreras.
- Suelo retenido contra la barrera. Se determinó dividiendo el volumen

acumulado entre el área contribuidora. Para expresarla en t/ha/año, 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.

Evaluaciones realizadas

Para la 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 5 mediciones por cada barrera, teniendo en cuenta el área de cada calvero. Para la determinación del área de cada calvero o afloramientos rocosos, se tuvo en cuenta el largo del mismo (56m.) por 40 m. de ancho, lo que arrojó un área física de 2 240,0 m² por cada uno de ellos (cuatro en total).

Análisis Estadístico

Por tratarse de un diseño de bloques al azar, los resultados obtenidos fueron procesados por la versión estadística 5,1 de STATGRAPHICS. Se utilizó ANOVA Simple para el tratamiento de las variables establecidas en la determinación de las diferencias entre los tratamientos. A partir de los datos obtenidos en los dos años (2013 y 2014), se realizó un análisis de varianza doble.

Valoración económica del empleo de barreras combinadas de piedras y *Agave angustifolia* Haw

Para su realización, 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 físicas, químicas y biológicas del área objeto de estudio

La experiencia investigativa se ubicó en la Unidad 2 (Ladera de la Meseta), en la cual se manifiestan condiciones internas medianamente estables ante los factores extremos de riesgo, lo que sirve de alerta sobre las limitadas condiciones de uso que presenta dicha unidad.

Según MINAG (2012), existen en ella problemas de erosión que tiene en su origen; por un lado, la característica

natural de la zona y por otro lado 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 suelos, fundamentalmente en las áreas de mayor pendiente.

En el área objeto de estudio, predomina el tipo genético de suelo Poco evolucionado (Lithosol Eutricto), muy semejante a los evaluados por Telo-Crespo (2014) en las inmediaciones del poblado de Costa Rica. Los suelos así clasificados ocupan un área de 674,84 ha. de suelos de formación primaria, que tienen como limitantes muy fuerte erosión, muy poco profundos, de excesiva pedregosidad, extremadamente rocosos y de drenaje superficial excesivo. Son suelos que deben su bajo grado de evolución a procesos de denudación, en relieves inestables, sobre rocas calizas duras y compactas y donde hay muy poca alteración de los minerales primarios (Tabla 1).

Por los resultados que se muestran, tanto la profundidad pedológica como 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 los informes expuestos por MINAG (2012).

El grado de inclinación de la pendiente en el entorno de estudio es evaluado de fuertemente ondulado y oscila entre 8%-16%, 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.

Tabla 1. Características morfológicas y físicas del área.

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 la 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

Según Dorronsoro (2004), cuando tiene lugar una destrucción significativa de la vegetación (de origen natural como una avalancha, o de origen humano), se origina una perturbación muy importante en el sistema, dejando a la erosión que se erija como la mayor responsable de la destrucción de los horizontes más superficiales del suelo, lo que deriva en un fenómeno de reversión a las condiciones primitivas.

Resultados mucho menos contrastantes a estos fueron los obtenidos por Telo-Crespo y Lugo (2014), al realizar un diagnóstico en las áreas agrícolas de la

finca No. 1 de Antonio Barzaga del polígono antierosivo Tumbalabana, municipio El Salvador, comprobando que la profundidad efectiva de los suelos variaba, desde suelos poco profundos hasta profundos con topografía fuertemente ondulada, solo en un área limitada por barreras antierosivas de caña y kingrass y drenaje deficiente.

Para evaluar la calidad del suelo retenido contra la barrera, se tomaron tres muestras complejas: una por cada barrera establecida en las tres réplicas. Sus resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis agroquímico de las muestras de suelo retenido en los afloramientos rocosos con barreras de piedra y *Agave sp.*

Muestras	pH KCl	mg/100g de suelo		
		P ₂ O ₅	K ₂ O	MO %
1	6,88	0,93	14,9	5,59
2	6,86	1,76	6,0	5,40
3	6,78	1,84	10,3	5,59

Fuente: Laboratorio Provincial de suelo. Guantánamo

Según los resultados mostrados el pH, determinado en una solución de Cloruro de potasio, se comporta neutro en todas las muestras analizadas de suelos, 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) que crea un tipo de meteorización característica, según criterios de Cairo y Fundora (2005).

Los contenidos de fósforo y potasio asimilables para las tres muestras complejas evaluadas oscilan 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, según evaluaciones de Paneque (2010).

Se pudo observar que, dentro del grupo variado de especies presentes, la mayor representatividad en el área cercana al calvero se obtiene con el *Agave angustifolia* Haw, al estar representado por 93 individuos de un total general de 285 y características como las descritas por García-Mendoza (2014). 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 y 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 al 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 evita la erosión hídrica, es que se le dio continuidad a esta investigación iniciada en 2010.

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 variable 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 unas de otras.

La Figura 1 muestra la profundidad media de la capa de suelo que se acumula contra las barreras sobre los afloramientos rocosos estudiados.

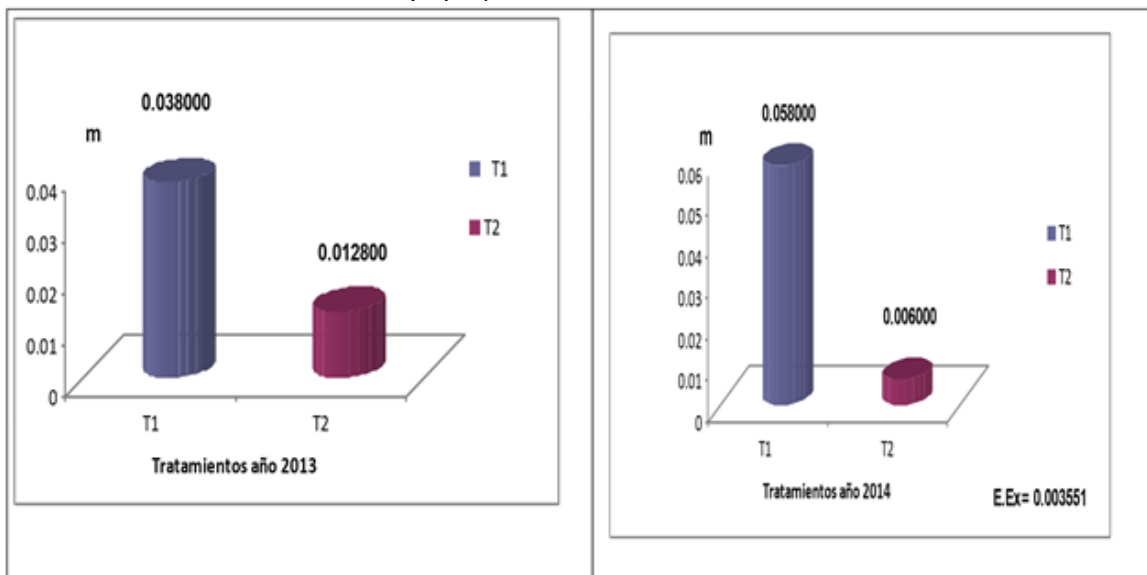


Fig. 1. Dinámica de la profundidad media de acumulación de suelo sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta para los años 2013 y 2014 en m.

Se observa un incremento paulatino de esta variable a partir del año 2013 y hasta

el año 2014 en los tratamientos donde fueron establecidas barreras combinadas

de piedra y *Agave angustifolia* Haw. Entre todos los tratamientos evaluados, se observan una mayor acumulación de suelo y sedimentos 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 y Lugo (2014), al evaluar la profundidad de la capa de suelo acumulada en cuatro tratamientos para dos años, en un suelo Pardo sialítico carbonatado, no observaron diferencias significativas entre dos de los tratamientos analizados. Al comparar barreras de caña a 16 m., entre barreras con 50 m. de largo debido a la configuración del terreno (pendientes entre 7 y 9%), la profundidad del suelo acumulado no sufrió variación alguna. Iguales tendencias observaron en barreras de *kingrass* a 24 m. entre barreras con 100 m. de largo en pendientes entre 5 y 7%; pero demostraron que las barreras vivas ubicadas en estas condiciones no propician mayores acumulaciones de suelo, pero sí evitan un mayor arrastre del mismo, contrario a lo que se observa en nuestros experimentos, donde sí 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%) se 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 estos dos últimos tratamientos con diferencias significativas para ambos periodos de estudios 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 Figura 2, 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 desde el año 2013 hasta el 2014, contra un testigo que presentó valores muy reducidos de longitud media, aspecto este muy 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, fue retenida en menor escala y que fue depositada más allá de los límites de la parcela.

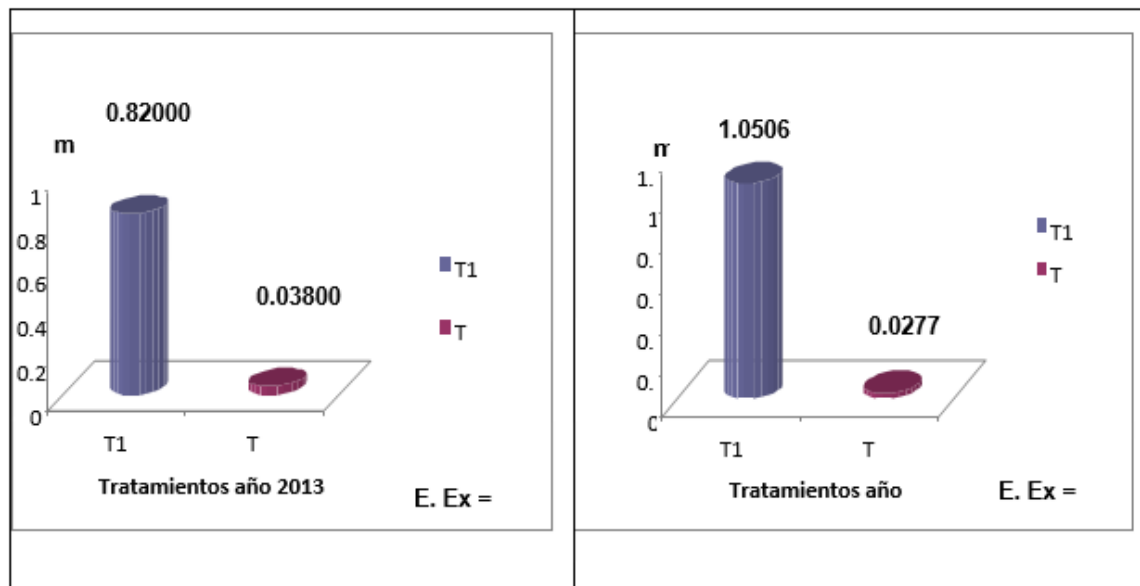


Fig. 2. Dinámica de la longitud media de acumulación de suelo sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta para los años 2013 y 2014 en m.

Bajo condiciones de suelos muy diferentes (suelos sialíticos muy evolucionados) Telo-Crespo *et al.* (Resultados no publicados) demostraron que, en el primer año de 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 mostramos, donde el incremento de esta variable es paulatino de un año a otro, a pesar de causar grados de pendientes ligeramente superiores. Entre los tratamientos con barreras mucho más densas, no existieron diferencias significativas, en cambio, con el resto de los tratamientos sí existieron, lo cual se ajusta a la composición de las barreras y a las pendientes del terreno para cada tratamiento, como mostramos en el ejemplo que analizamos.

Según Urquiza *et al.* (2011), la longitud de la capa de suelo acumulado se determina evaluando un número determinado de

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

Si el cálculo del área transversal es el resultado de la multiplicación de la longitud de la acumulación de la capa de suelo por la profundidad de dicha

acumulación por $\frac{1}{2}$, teniendo en cuenta la fórmula para la determinación del área de un triángulo (Urquiza *et al.* 2011), no es obvio señalar que mientras mayor sea el área donde se depositen los sedimentos producto de la erosión del suelo entre barreras y mayor sea la inclinación de la pendiente que facilita este proceso, menor deberá ser la longitud de la acumulación y mayor su profundidad, lo que puede afectar seriamente el área transversal, aun si la barrera viva no funciona eficientemente.

En la Figura 3, se observan diferencias notables 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 unas 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 este experimento con los obtenidos por Telo-Crespo y Lugo (2014) en condiciones menos extremas, en los tratamientos que allí se analizaron (barreras de caña situadas a 16 metros entre barreras con 50 metros de largo en pendientes entre 7 y 10% y barreras de kingrass situadas a 24 metros entre barreras con 100 metros de largo en pendientes entre 5 y 7%), aunque no existieron diferencias significativas entre ambos, lograron retener mayor cantidad de sedimentos e influir de una manera más positiva en la conformación del área transversal de los experimentos mostrados.

m².

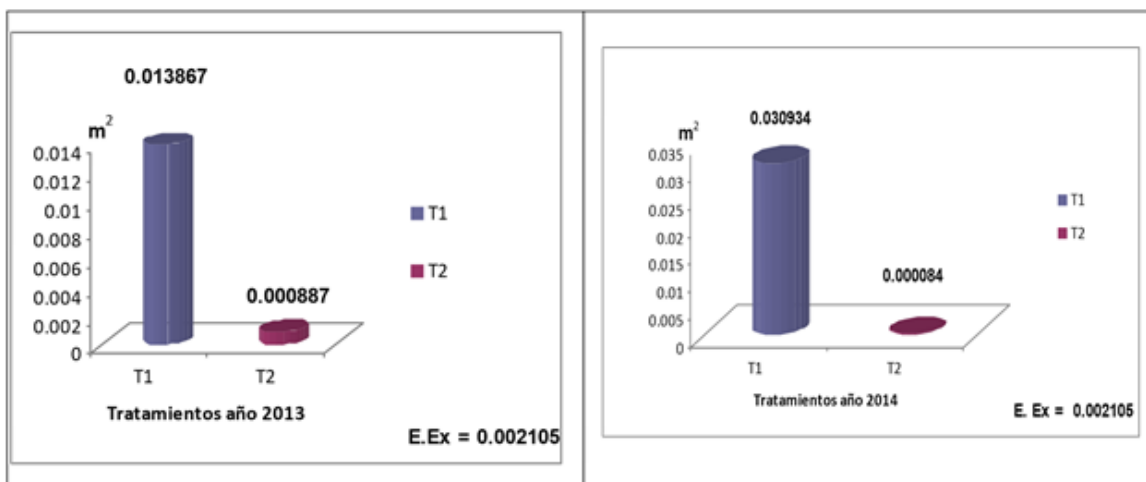


Fig. 3. Dinámica de la conformación del área transversal sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta para los años 2013 y 2014 en m².

El volumen de suelo acumulado contra la barrera es también una variable

dependiente del área transversal y es derivada de la multiplicación de esta por el

largo de la barrera, lo que se observa en la Figura 4 donde se muestra el volumen de suelo acumulado en los afloramientos rocosos para el primer y segundo años de estudio y el testigo. Como en los análisis

anteriores, se muestran diferencias notables entre los años que se comparan y el tratamiento que se muestra como testigo.

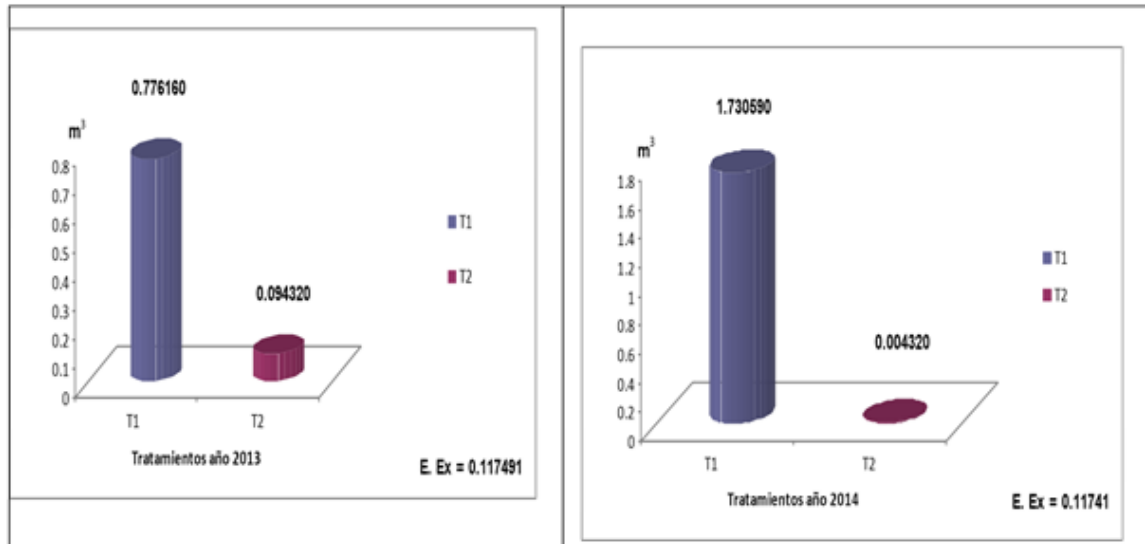


Fig. 4. Dinámica del volumen de suelo acumulado sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta para los años 2013 y 2014 en m³

Algo similar ocurre para nuestras condiciones 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

La relación que se establece entre el largo de una barrera y la distancia entre estas es lo que se conoce como área contribuidora. Al dividir el volumen acumulado de suelo entre esta área y

multiplicar el resultado por la densidad aparente del suelo y por 104, se obtiene como resultado el volumen total de suelo retenido contra la barrera en toneladas para una hectárea en un año, según Urquiza *et al.* (2011).

En los tratamientos analizados para evaluar la cantidad de suelo retenido contra la barrera sobre parcelas de afloramientos rocosos, la dinámica del proceso no difirió de anteriores análisis realizados para las variables de las cuales es dependiente (Figura 5).

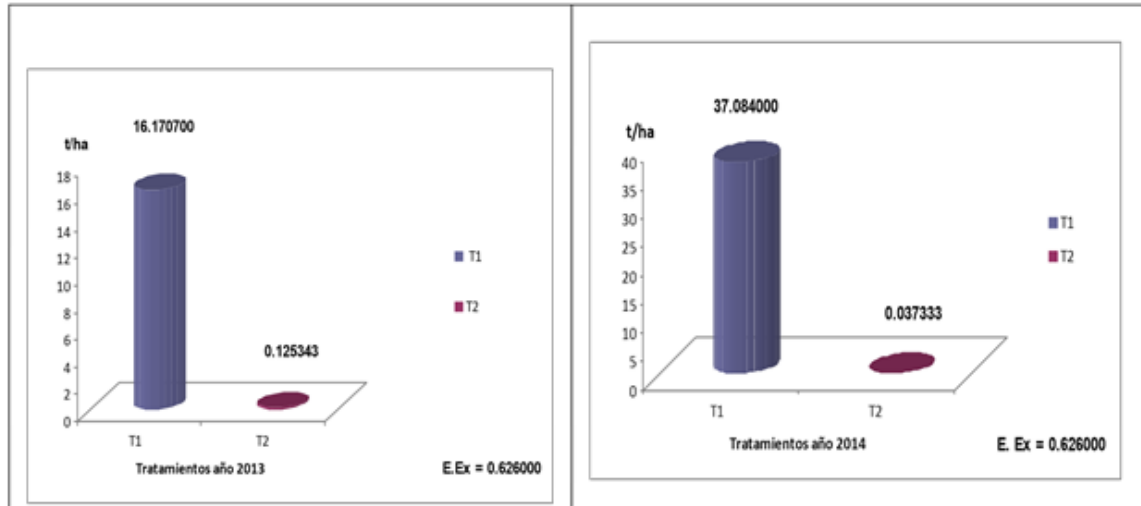


Fig. 5. Dinámica del volumen de suelo retenido contra la barrera sobre parcelas de afloramientos rocosos en la RFM Sierra Canasta para los años 2013 y 2014 en t/ha.

La máxima retención de suelo contra la barrera se observa en el año 2014 por ser un proceso acumulativo y progresivo que se inicia con las mediciones efectuadas en 2013.

Los valores para esta variable, que muestra el tratamiento evaluado como testigo, 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 los 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 y 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.

Resultados semejantes fueron alcanzados por Fuentes y Martínez (2001), pero en otras condiciones edafoclimáticas, controlando la erosión con una o varias medidas antierosivas, según las problemáticas existentes en los terrenos: muros de piedra al contorno, terrazas niveladas, terrazas individuales y barreras vivas con especies forestales y Pedrique (2013) con barreras de *Ananas comusus* Merr. y *Vetiveria zizanioides*, a 52, 47, 38 y 32 % de pendiente obtuvieron muy buenos resultados en el control de la erosión.

Suelo acumulado fuera de los límites del afloramiento rocoso

Según Dorronsoro (2004), por la acción de la gravedad, a través del relieve se produce el transporte de todo tipo de

materiales que se traslada pendiente abajo, por lo que, dependiendo de su posición en el paisaje, el suelo se ve sometido a la acción de erosión o, por el contrario, puede predominar la acumulación. Es por ello que, en las zonas altas, sobre todo en las áreas en que se presentan fuertes inclinaciones, el suelo está sometido a una intensa erosión, por lo 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 escorrentía, 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.

Tabla 3. Dinámica de los sedimentos acumulados más allá de los límites de las parcelas.

Variables analizadas	Fuera de los límites del afloramiento rocoso	
	Valores	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

Todos los valores que se muestran, comenzando en los que se marca la profundidad media de acumulación de sedimentos hasta el volumen total de suelo acumulado, acusan altos valores en t/ha. de suelo que logra retenerse fuera de los límites de la parcela por la escasa existencia de obstáculos que entorpecen el libre flujo de las aguas de escorrentía.

Según Martín y Abad (2011), el agua de lluvia provoca la erosión del suelo por el impacto de las gotas sobre su superficie,

cayendo con velocidad y energía variables y a través del escurrimiento del torrente. Su acción erosiva depende de la distribución pluviométrica, más o menos regular en el tiempo y en el espacio y de su intensidad. En el entorno de investigación, las precipitaciones promedio anual varían en esta zona desde 50mm., 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

acumulación evaluados no resultaran mayores.

Según ambos autores, un análisis del riesgo de erosión centra en los cambios de vegetación (como el paso de vegetación nativa a los cultivos) las causas del aumento de la erosión, produciendo que el suelo pierda sus nutrientes y sea infértil e inservible.

Explica que una zona sin árboles sufre mucho, debido a que el árbol absorbe el agua y en su ausencia el agua se va sin ser absorbida en su mayor parte y llevándose consigo la arena de la tierra que redeposita libremente. Concluye que la vegetación controla la velocidad de la corriente de agua, por lo que, mientras más juntos estén los tallos de las plantas,

la velocidad de la corriente del agua será menor.

Valoración económica del empleo de barreras combinadas de piedras y *Agave angustifolia* Haw

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., debido a la disminución de los gastos de la fuerza de trabajo, ya que en la conservación tradicional aumentan ligeramente los gastos por la conformación de las barreras muertas.

Tabla 4. Análisis de los costos por hectárea de conservación de suelos con la aplicación de barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia*. Haw (Pesos)

Conceptos	Conservación Tradicional	Conservación Nueva	Variación
Materias primas y materiales	5.89	5.89	0.00
Gastos de la fuerza de trabajo	101.80	98.69	-3.11
<input type="checkbox"/> Salarios	73.19	70.95	-2.24
<input type="checkbox"/> Vacaciones	6.65	6.45	-0.20
<input type="checkbox"/> Contribución Social	9.98	9.68	-0.30
<input type="checkbox"/> 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	1450.56	1447.45	-3.11
Seguro Forestal		94.08	94.08
Costo tecnológico total	1450.56	1541.53	90.97
Bonificación	435.168	462.46	27.29
Total a certificar	1885.73	2003.99	118.26

A nivel de costo tecnológico total, el nuevo método aplicado registró un incremento de \$90,97/ha., debido a que en el método tradicional no se incluyeron 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 el cual se incrementa en \$118,26/ha.

CONCLUSIONES

Los bajos niveles actuales de retención de suelo en la Reserva Florística Manejada

(RFM) Sierra Canasta están vinculados a serios problemas de erosión presentes por la actividad irracional de deforestación y la falta de aplicación de medidas para la conservación de suelos, fundamentalmente en las áreas de mayor pendiente.

La efectividad del empleo de las barreras combinadas de piedra y *Agave angustifolia* Haw sobre las barreras muertas se

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRO P.C. y FUNDORA, O.H. *Edafología*. Segunda edición corregida y ampliada Editorial. La Habana: Pueblo y Educación. 2005. ISBN: 959-258-4.

COPELLO, L.P. y SAMÓN, J.R. Ministerio de la Agricultura Guantánamo. Medidas de recuperación de suelo en la Reserva Florística Manejada Sierra Canasta, Empresa de Flora y Fauna. Unidad Sierra Canasta. 2014.

DORRONSORO, C.F. *El suelo: concepto y formación* [en línea]. Página profesional de Fernández. [Consultado 19 abril 2015]. Disponible en: <http://www.edafologia.net/introeda/tema01/indice.htm>

FUENTES A. y O. MARTÍNEZ. *Manual técnico de estabilización y forestación de cárcavas en cuencas hidrográficas*. Ciudad de La Habana, Cuba: AGRINFOR. 2001. ISBN: 959-246-041-8.

GARCÍA-CHEVESICH P. La ocurrencia de incendios forestales en Chile y sus consecuencias en la erosión y la

incrementa con los años de estudio, revertiendo los procesos evolutivos de regresión presentes en el área.

El empleo de barreras combinadas de piedras y *Agave angustifolia* Haw en afloramientos rocosos de la RFM Sierra Canasta es una práctica económicamente viable por la reducción de sus costos y el incremento de los niveles de bonificación.

hidrología de cuencas. Mundo Forestal 26: 45-49. 2014.

GARCÍA-CHEVESICH P. Control de la erosión y recuperación de suelos degradados. Editorial OutsKirts Press Robbin B. Sotir & Associated, Inc. United States of America. 2015. ISBN: 978-1-4787-4510-5.

GARCÍA MENDOZA, A. J. *Artículo sobre los distintos tipos de magueyes, mezcales o agaves* [en línea]. México: Versión electrónica. [Consultado 9 febrero 2014]. Disponible en: <http://www.fao.org/documents>.

HERNÁNDEZ AJ, JM PÉREZ, DI BOSCH & NS CASTRO Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos. 2015. ISBN: 978-959-7023-77-7.

LIMERES T.J., OE BORGES, F.M. DURAN, A.J. LEYVA, E.V. MUÑOZ y L.M. MORA. *Manual de Procesos y Tecnologías. Agricultura y Manejo Sostenible de Recursos Naturales en Áreas Protegidas*. Primera edición. Proyecto CUB 1033 Guantánamo: Editora Agroecológica. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF). 2011. ISBN: 978-959-7210-37-5.

MARTÍN, N.J. y ABAD, I.O. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: N.J. MARTÍN ALONSO y J.L. DURÁN ÁLVAREZ. *El suelo y su fertilidad*. Editorial Félix Varela. La Habana: 2011. ISBN: 978-959-07-1418-4.

MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CITMA). Delegación provincial Guantánamo. Informe de metodología y series de datos empleados, Centro Meteorológico Provincial. 2015.

MINAG (Ministerio de la Agricultura). (1984) Manual de interpretación de los índices físicos químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, Cuba. 136 p.

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (MINAG). Delegación Provincial de la Agricultura Guantánamo. Plan de Manejo de Sierra Canasta. Informe, Empresa Flora y Fauna. 2012.

PANEQUE, V.M., CALAÑA, J.M., CALDERÓN, M.V., BORGES, Y.B., HERNÁNDEZ, T.C. y CARUNCHO, M.C. Manual de Técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Primera edición. Ciudad de La Habana: Ediciones INCA. 2010. ISBN: 978-959-7023-51-7.

PEDRIQUE, P. 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 de maestría inédita, Convenio de Cooperación Integral Cuba-Venezuela, Ministerio de Educación Superior, Universidad de Guantánamo. 2013.

TELO CRESPO, L.F. Indicadores de sostenibilidad para determinar capacidad de acogida de las tierras. Estudio de caso: Consejo Popular Costa Rica, Municipio El Salvador. Provincia Guantánamo. Tesis de maestría inédita, Facultad de Agronomía, Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural, Universidad Agraria de La Habana. 2014.

TELO CRESPO, L.F. y LUGO, D.S. (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 inédito, Facultad Agroforestal, Universidad de Guantánamo. 2014.

URQUIZA, M.; ALEMÁN, C.; FLORES, L.; PAULA, R. y AGUILAR, Y. *Manual de procedimientos Manejo Sostenible de Tierras*. Primera edición. La Habana: 2011.

VALLE, A.O. y ORTEGA, F.S. La degradación de los suelos rojos de la llanura Habana-Matanzas durante el período colonial. Universidad Agraria de La Habana. 2013.