



Alternativas para el manejo agroecológico de suelos en agroecosistemas de *Theobroma cacao* L.

Alternatives for agroecological soil management in agroecosystems of *Theobroma cacao* L

 Manuel de Jesús Castillo Gámez^{1*},  Gicli Manuel Suárez Venero¹,  Mariol Morejón García²

¹Facultad agroforestal, Universidad de Guantánamo, avenida Che Guevara Km1/2, carretera a Jamaica, Guantánamo, Cuba. CP: 95100

²Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saiz Montes de Oca” (UPR), avenida José Martí # 300, e/ 27 de noviembre y González Alcorta, Pinar del Río, Cuba. CP 20100

RESUMEN: La investigación se realizó durante el período 2016 - 2018 en fincas de la UBPC “José Maceo Grajales”, municipio Baracoa, provincia Guantánamo, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes alternativas de manejo agroecológico de suelo en agroecosistema frágil montañoso de cacao, *Theobroma cacao* L. Se estudiaron cuatro tratamientos, con cuatro réplicas en un Diseño en Bloques al Azar. Los tratamientos fueron: 1. Barreras vivas + barreras muertas, 2. Barreras vivas + barreras muertas + materia orgánica, 3. Barreras vivas + barreras muertas + materia orgánica + abono orgánico generado de la *Canavalia ensiformis* y 4. Testigo sin medidas de conservación. Se realizaron en el año 2016 evaluaciones tales como análisis químico del suelo (pH, materia orgánica, fósforo y potasio), pérdidas de suelos y rendimientos del cultivo del cacao, dos años después, se repitieron las mismas evaluaciones. Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de las alternativas de manejo agroecológico influye de manera significativa en el mejoramiento de las propiedades químicas estudiadas del suelo Pardo sialíticoóchrico y la disminución de las pérdidas de suelos hasta límites permisibles en el agroecosistema cacaotero. La alternativa más eficiente en el manejo agroecológico de suelo para *Theobroma cacao* L. fue la combinación de barreras vivas y muertas con los abonos orgánicos generados de la especie leguminosa *Canavalia*, con rendimientos agrícolas de 1,18 t ha⁻¹, superiores a la media nacional.

Palabras clave: erosión, conservación, rendimiento, alternativas.

ABSTRACT: The research was carried out during the period 2016 - 2018 in farms of the UBPC “José MaceoGrajales”, Baracoa municipality, Guantánamo Province with the aim of evaluating the effect of different alternatives for agroecological soil management in the fragile mountainous agroecosystem of *Theobroma cacao* L. Four treatments were studied, with four replications in a Random Block Design. The treatments were: 1. Live barriers + dead barriers, 2. Live barriers + dead barriers + organic matter, 3. Live barriers + dead barriers + organic matter + organic fertilizer generated from the *Canavalia ensiformis* and 4. Control without conservation measures. Evaluations such as chemical analysis of the soil (pH, organic matter, phosphorus and potassium), soil losses and cocoa crop yields were carried out in 2016, two years later the same evaluations were repeated. The results obtained show that the application of agroecological management alternatives significantly influences the improvement of the studied chemical properties of the brown sialitic, ochric soil and the reduction of soil losses to permissible limits in the cocoa agroecosystem. The most efficient alternative in agroecological soil management for *Theobroma cacao* L., was the combination of living and dead barriers plus organic fertilizers generated from the legume *Canavalia* species, with agricultural yields of 1, 18 t ha⁻¹, higher than the national average.

Key words: erosion, conservation, yield, alternatives.

*Autor para correspondencia: manuelcg@cug.co.cu

Recibido: 27/01/2020

Aceptado: 23/12/2023

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Conceptualización-** Manuel de Jesús Castillo Gámez. **Investigación-** Manuel de Jesús Castillo Gámez, Mariol Morejón García, Gicli Manuel Suárez Venero. **Metodología-** Manuel de Jesús Castillo Gámez, Mariol Morejón García, Gicli Manuel Suárez Venero. **Supervisión-** Manuel de Jesús Castillo Gámez, Mariol Morejón García, Gicli Manuel Suárez Venero. **Escritura del borrador inicial, Escritura y edición final y Curación de datos-** Manuel de Jesús Castillo Gámez.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales, la erosión hídrica constituye el proceso de degradación de los suelos con mayor importancia (1). Se ha informado que la erosión de los suelos ha sido influenciada por el cambio climático, principalmente por los cambios de temperatura y patrones de precipitación que ha impactado sobre la producción de la biomasa vegetal, las tasas de infiltración, la humedad del suelo y los cambios de uso y el manejo de los cultivos (2). Esto, unido al crecimiento de la población mundial y la demanda de alimentos calculada para los próximos años, que aumentará en un 50 por ciento, hacen que el cambio climático sea un riesgo adicional para la degradación del suelo y el agotamiento de las reservas de agua, debido a la expansión de las zonas de cultivo y la intensificación de la producción (3).

Al respecto se ha señalado que, aunque es un hecho que el cambio climático es un proceso natural e inevitable y que no está bajo el control humano, el mal manejo de los suelos y del ambiente por el hombre puede acelerar los procesos erosivos. Por ello, si se pudiera manejar de una forma adecuada el uso de la tierra, la pérdida de suelo podría ser controlada e incluso disminuida, aún bajo la influencia del cambio climático (4).

Por otra parte, los suelos se están deteriorando rápidamente, también, debido al agotamiento de los nutrientes, la pérdida del carbono orgánico y la compactación. Sin embargo, este fenómeno puede revertirse siempre que se tomen las iniciativas en la promoción de prácticas de manejos sostenibles y el uso de tecnologías apropiadas (5).

Es un hecho reconocido que la conservación de los suelos es una necesidad apremiante e impostergable. Una pérdida media de 0,3 % del rendimiento anual de los cultivos está ocurriendo debido a la erosión, que de continuar sin cambios positivos podría fomentar una reducción del rendimiento anual para el año 2050 en un 10 %. Esto supondría la pérdida anual de 4,5 millones de hectáreas de suelos agrícolas, siendo Asia, Latinoamérica y el Caribe, el Cercano Oriente y Norte de África, las regiones que tienen la mayor tendencia a dicho deterioro (6).

El deterioro de los suelos conduce a reforzar la importancia de conservar el mismo, lo que implica considerar aspectos fundamentales como la seguridad alimentaria, la resiliencia al cambio climático y la estabilidad geosocial (7). Particularmente en Cuba, como consecuencia de lo anteriormente expuesto, más del 40 % de los suelos presentan afectaciones por erosión con potencialidades hasta el 56 %, lo cual es alarmante si se considera que el primer signo de la reacción en cadena desatada por estos factores, la disminución del rendimiento agrícola (8) en varios cultivos, entre estos, el cacao que se desarrolla, fundamentalmente, en la pre cordillera de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, además del creciente desarrollo en la zona Central y Occidental del país (9), con un rendimiento promedio que no sobrepasa las 0,39 t ha⁻¹(10).

Las regiones montañosas son consideradas dentro de los ecosistemas frágiles, en los cuales el desarrollo agrícola depende de alternativas sostenibles para no romper el equilibrio entre el hombre y la naturaleza, ya que están dadas las condiciones para la ocurrencia de fenómenos como la erosión de los suelos provocadas por las intensas precipitaciones y el relieve ondulado, cuyas pendientes sin medidas de conservación provocan escurrimientos, que significa el arrastre de las partículas de suelo por la energía de circulación del agua ante una desprotección del mismo.

Frente a este panorama, surge la necesidad de mejorar, gradualmente, la sostenibilidad en la gestión de los recursos naturales locales como el suelo, a fin de lograr un desarrollo sostenible por medio de alternativas de manejo agroecológico que permita su conservación y mejoramiento, además de lograr los rendimientos potenciales de los cultivos. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar alternativas de manejo agroecológico de suelos en un agroecosistema frágil montañoso plantados con *Theobroma cacao* L. del municipio Baracoa, provincia Guantánamo, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el período 2016 - 2018, en agroecosistemas de la UBPC "José Maceo Grajales", ubicada en la localidad del Jamal, municipio Baracoa, localizada en los 20°16'34,65" latitud norte y 74°25'32,35" de longitud oeste, a 23 m s.n.m. La misma se desarrolló en una plantación de cacao de 20 años de edad, establecida con injerto del clon UF 650, con mezclas de especies forestales como sombra, sobre un suelo con agrupamiento Pardo sialítico, tipo pardo, subtipo ócrico (11), relieve ondulado y pendiente promedio del 15 %.

Para la caracterización del clima se registró la información existente de los últimos cinco años, aportado por la Estación Meteorológica, perteneciente al Instituto de Meteorología (INSMET) ubicada en la zona de Jamal (Figura 1). Con los datos descritos se confeccionó un climodiagrama en el que se representa las temperaturas y precipitaciones promedio en la zona de estudio.

Se empleó un diseño bloques al azar, con cuatro tratamientos y cuatro réplicas. Los tratamientos fueron:

1. Barrera viva + barrera muerta
2. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica
3. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica + abono orgánico originado de *Canavalia ensiformis* L.
4. Testigo absoluto (sin ninguna medida de conservación). Aplicación de las normas técnicas (21)

Como barrera viva se utilizó plantas de *Aralia* (*Aralia elegans*), establecidas en época de primavera mediante estaca con una longitud aproximada de 0,40 m a una distancia de 12 m entre barreras (9). Las estacas fueron dispuestas en hoyos trazados siguiendo la curva de nivel por cada tratamiento. A las plantas se les realizó podas de formación para mantener su altura mínima entre 0,80-1 m.

Como barreras muertas se utilizaron todos los residuos vegetales y biomasa existente en el propio agroecosistema cacaotero, tales como: tallos de plátano, pencas de palma, troncos y ramas de podas del propio cultivo. Los mismos se acordonaron a una distancia de 12 m (9) y esta fue asegurada con estacas para garantizar su estabilidad y uniformidad.

La fuente de materia orgánica empleada fue la cáscara de cacao descompuesta procedente de las fosas de cosecha de la propia plantación. Se realizaron terrazas individuales, conformadas por pequeñas plataformas circulares alrededor de cada planta de cacao y protegida conseudotallo de plátano. La materia orgánica se aplicó cada seis meses, a razón de 10 kg por planta. Por otro lado, se sembraron las semillas de la especie *Canavalia ensiformis* L. alrededor de las plantas de cacao y entre hileras a un marco de plantación de 0,20 entre plantas y 0,50 m entre surcos. Luego de una floración homogénea, la biomasa fue incorporada al suelo para su descomposición y aporte como abono orgánico.

Se realizaron dos muestreos de suelos por tratamiento con el objetivo de evaluar el comportamiento nutricional del mismo, uno al principio (primera evaluación, enero de 2016) y el otro al final de la investigación (segunda evaluación, diciembre de 2018). Para realizar los dos muestreos se tomaron submuestras de suelos por tratamiento, las cuales se mezclaron y se obtuvo una muestra final de 1kg por tratamiento.

Se realizaron los análisis químicos a las muestras de suelo y se determinaron los contenidos de materia orgánica (por el método Colorimétrico), fósforo (método de Oniani por Colorimetría), potasio (método de Oniani por Fotometría de llama) y pH, cuyos métodos fueron descritos en el Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (12). La evaluación sobre sus contenidos en el suelo fue categorizada como alto, medio, bajo y muy bajo, de acuerdo a lo descrito en el mismo manual.

Se determinaron las pérdidas de suelo por el método mejorado de clavos y rondanas (13), para lo cual se evaluaron cuatro puntos al azar mediante varillas graduadas y enterradas donde se localizaron los tratamientos, en parcelas sin aplicación de medidas y con aplicación de medidas por tratamiento, para determinar el nivel de lámina de suelo erosionado, a partir de la siguiente fórmula:

$$P = h \cdot A \cdot Da$$

donde:

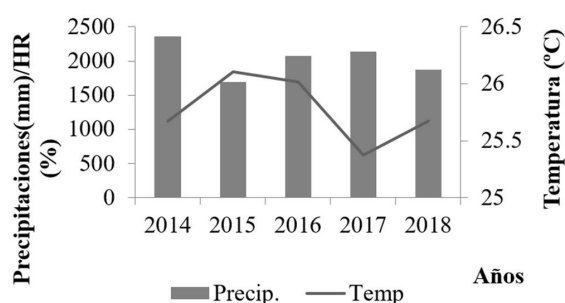
P= pérdida de suelo en (t ha⁻¹ año).

h= altura de la lámina de suelo perdida por erosión (cm).

A= área medida (m²).

Da= densidad aparente (g cm³).

Las pérdidas de suelo se determinaron a partir del registro mensual de la altura en cm de la lámina de suelo erosionado en cada una de las varillas graduadas por tratamiento y por parcela con y sin aplicación de las alternativas de manejo, cuyos valores promedio significaron la pérdida de suelo para cada tratamiento. La dinámica del



Precip.: Precipitaciones (mm) y Temp.: Temperatura (°C)

Figura 1. Climograma de la zona objeto de estudio entre los años 2014-2018, en la localidad El Jamal, municipio Baracoa

registro de la pérdida de suelo fue comparada con la información pluviométrica de la localidad, lo cual permitió el análisis e interpretación de los resultados por la relación directa que poseen las precipitaciones con las pérdidas de suelo en relieve montañoso.

Durante la investigación se realizaron evaluaciones del rendimiento agrícola (t ha⁻¹) del cultivo por tratamiento en dos años de cosecha que contempló cuatro campañas (dos cosechas de frío y dos de primavera). Al final de la investigación, se determinó el rendimiento agrícola promedio de los años de cosecha a partir de la cantidad de mazorcas cosechadas en un total de 22 plantas por tratamiento, que fueron el 100 % de las plantas por parcela.

Para toda la investigación, los datos fueron procesados con el uso del programa estadístico STATGRAPHICS plus ver. 5.1, donde se realizó un análisis de varianza de clasificación simple y la comparación de las medias con la aplicación de la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, para un 95 % de probabilidad de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En correspondencia con las características climáticas históricas de la región objeto de estudio (Figura 1), la precipitación media anual estuvo entre 1500-1800 mm, con valores superiores en período lluvioso y la temperatura entre 25,7-30 °C (14).

Por lo tanto, se considera una zona muy lluviosa dentro del macizo montañoso Nipe Sagua Baracoa, con los posibles efectos de la precipitación sobre el suelo por ocasionar deterioro de los mismos, debido a las constantes escorrentías por el efecto de la pendiente, y con ella la pérdida de la materia orgánica que potencialmente origina bajos rendimientos productivos en el cultivo *Theobroma cacao* L., cuando no se aplican medidas de conservación y mejoramiento de suelos. De modo que, el deterioro del suelo causado por fenómenos naturales o de origen antrópico, evidencia la necesidad de brindar una atención especial cuando se estudia los impactos de las altas precipitaciones sobre el suelo sin protección y, a la vez, sobre la producción, en este caso del cacao. Por ello, la necesidad de buscar alternativas sostenibles de manejo de suelos.

En cuanto al análisis químico del suelo al inicio de la investigación (primera evaluación) demostró que el pH fue ácido en las parcelas donde se ubicaron todos los tratamientos (Tabla 1), lo cual significó un aspecto de interés agrícola por los efectos negativos de esta condición edafológica sobre el potencial productivo del suelo. Sin embargo, en la segunda evaluación realizada, luego de aplicadas las medidas de conservación y mejoramiento de los suelos, a diferencia del tratamiento testigo, en todos los tratamientos el pH mejoró de un estado de muy ácido a neutro, considerándose apropiado para los cultivos agrícolas (23).

Por tanto, estos cambios del pH después del manejo agroecológico del suelo de manera integral, resultaron ser significativos, con mejor comportamiento el T3 y 1,38 veces superior al estado inicial. Similares resultados, aunque inferiores, estuvieron los T1 y T2, (0,93 y 0,99) respectivamente al T3, pero significativos respecto a la primera evaluación, lo que permitió mostrar la influencia de las medidas aplicadas en el mejoramiento de la acidez del suelo al aumentar el pH y mejorar los rendimientos productivos del cultivo del cacao. Así lo corrobora (25) que la productividad del cacao se incrementa cuando se disminuye la concentración de Al^{3+} y se aumenta el pH a valores entre 5,5 y 7,5, independientemente de otras características: suelos profundos, buen drenaje, retención de humedad y buen contenido de materia orgánica.

Por otra parte, según las clasificaciones del manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos, con la aplicación de los tratamientos los niveles de fósforo cambiaron de niveles muy bajos a medianos (12), en la segunda evaluación realizada para este elemento, con diferencia significativa entre los tratamientos con los mayores valores en el tratamiento 3; todo lo contrario, resultó en el tratamiento testigo, con los valores más bajos. Por lo general, los países tropicales se caracterizan por insuficiente contenido de fósforo, lo cual guarda relación con el contenido de

arcilla, ya que ésta tiende a absorber gran cantidad de fósforo (22), por lo que es necesaria la aplicación de materias orgánicas para incrementar y sostener la disponibilidad de este elemento en el suelo para el cultivo del cacao.

Por otro lado, en todos los tratamientos se evaluaron contenidos altos de potasio (primera evaluación) con aumento de su contenido después de aplicada una u otra medida de conservación y mejoramiento del suelo a excepción del testigo, donde disminuyó el contenido de este elemento, lo que pudo ser motivado por los arrastres de suelo por erosión al no aplicarse medidas de conservación de suelos. Por esta razón, las prácticas de conservación de suelos y uso de la materia orgánica e incorporación de abonos verdes inducen procesos bioquímicos, físicos y biológicos que favorecen la sostenibilidad del suelo (23).

A propósito, los mayores incrementos de potasio se encontraron en el tratamiento 3, seguido del tratamiento 2. Este aumento de potasio puede ser debido a la aplicación de las medidas de conservación al incorporarse los abonos orgánicos de la cáscara de cacao (rica en este elemento) y de la materia orgánica generada por la biomasa en descomposición de la *Canavalia ensiformis* L., en el agroecosistema cacaotero, lo que representó un mejor aprovechamiento y disponibilidad de este elemento.

Con respecto a la materia orgánica en la primera evaluación, en todos los tratamientos mostró niveles medios, sin diferencia significativa entre los mismos. Al final de la evaluación, en los tratamientos donde se aplicaron una u otra alternativa de protección y mejoramiento de los suelos fue alto, con los mayores valores en el tratamiento 3, seguido de los tratamientos 2 y 1, pero en el suelo donde estuvo establecido el tratamiento testigo, disminuyó el contenido de materia orgánica.

En varias zonas del mundo, el uso inadecuado de la tierra ha provocado diferentes procesos de erosión y disminución del contenido de materia orgánica de los

Tabla 1. Resultados de los análisis químicos al suelo antes y después de aplicar las medidas de conservación de suelos, primera y segunda evaluación

Tratamientos	Primera evaluación (2016)			
	pH	M.O	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	5,47	4,26	9,96	31,92
T2	5,48	4,36	9,96	31,90
T3	5,47	4,24	9,98	31,94
T4	5,46	4,26	9,96	31,91
Error estándar	0,024 ns	0,074 ns	0,12 ns	0,34 ns
Segunda evaluación (2018)				
T1	6,40b	5,23c	31,61b	43,61b
T2	6,47b	5,62b	31,79b	48,00a
T3	6,85a	6,04a	34,90a	49,71a
T4	5,12c	2,37d	8,97c	31,5c
Error estándar	0,07*	0,35*	0,69*	0,78*

T1. Barrera viva + barrera muerta, T2. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica, T3. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica + *Canavalia ensiformis* L., T4. Testigo absoluto (sin ninguna medida de conservación). Medias con letras iguales no difieren entre sí (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $p \leq 0,05$), ns: no significativo para $p \leq 0,05$

suelos; fenómeno que se ha incrementado por el cambio climático y con ello el incremento de la vulnerabilidad (15). En este contexto, las tierras desprovistas de cobertura vegetal se hacen más vulnerables a la degradación (16); por lo tanto, teniendo en cuenta lo planteado por los autores que anteceden, en la presente investigación el uso de las coberturas y barreras de conservación han hecho del agroecosistema cacaotero menos vulnerable a las pérdidas de suelo, por lo que el uso de las alternativas facilitó disminuir la erosión y el escurrimiento, contribuyendo a mejorar la sostenibilidad del suelo y la productividad del cultivo.

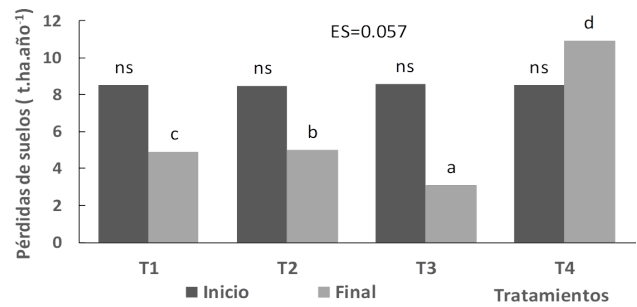
De manera que, los resultados del análisis químico al suelo en cada tratamiento permitieron resaltar la importancia de los abonos verdes y la fuente de materia orgánica originada de la cáscara de cacao, como parte del manejo agroecológico en el mejoramiento de las propiedades químicas del suelo. De esta forma, el manejo puede ser sostenible mediante el empleo de fuentes locales de estos materiales, producidos *in situ*, lo cual les otorga mayor importancia a las alternativas aplicadas. De ahí que, los abonos verdes constituyen una práctica agronómica que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas, con la finalidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del suelo (17, 18), de manera que esta constituye una alternativa a emplear para el manejo agroecológico de los suelos dedicados al cultivo del cacao.

En sentido general, lo expuesto con anterioridad evidencia que la aplicación al suelo de barreras tanto vivas como muertas protectoras de suelos y fuentes de materia orgánica originadas del propio agroecosistema, mejoran la calidad, la sostenibilidad y la agroproductividad del recurso suelo (19), debido a una nutrición de los cultivos que redundará en mayores rendimientos.

La pendiente del terreno, unido a las abundantes precipitaciones en la zona de estudio, son las posibles causas que ha producido constantes arrastres de la lámina superficial del suelo, a través de la erosión hídrica ocasionando la pérdida de la capacidad productiva, de gradación y su fertilidad, al evidenciarse disminución del contenido de los principales factores limitantes en el rendimiento de los cultivos: N, P₂O₅, K₂O, MO y el pH (26).

La mayor pérdida de suelo, desde el inicio hasta el final del período investigativo, ocurrió en el tratamiento testigo (Figura 2). Por el contrario, debido al efecto de los tratamientos: T1, T2 y T3, las pérdidas de suelo disminuyeron, aunque con diferencia significativa entre ellos, destacándose el tratamiento 3 con el mejor resultado. Por lo anterior, fue evidente el positivo efecto de las medidas de conservación, protección y mejoramiento de suelos en el agroecosistema cacaotero como parte del manejo agroecológico integral del mismo.

Diferentes autores han informado pérdidas superiores a las 20 t ha⁻¹ año cuando no se aplican medidas de conservación del suelo. Se reportan pérdidas superiores a las 30 t ha⁻¹ año en los suelos Pardo Sialíticos del Norte de La Habana de forma natural y por efecto antrópico, a pesar



T1. Barrera viva + barrera muerta, T2. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica, T3. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica + abono orgánico originado de la *Canavalia ensiformis* L., T4. Testigo absoluto (sin ninguna medida de conservación). Inicio: resultados de la etapa en que se inició la primera evaluación de pérdidas de suelos. Final: resultados de la etapa en que concluyó la última evaluación de pérdidas de suelos. Medias con letras iguales no difieren entre sí (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $p \leq 0,05$), ns: no significativo para $p \leq 0,05$

Figura 2. Efecto de los tratamientos en las pérdidas de suelo por erosión

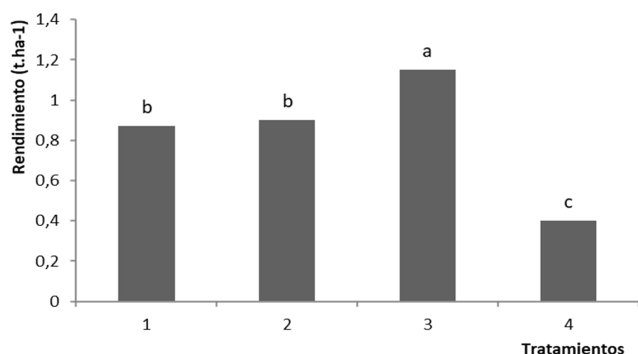
de la alta resistencia antierosiva de estos suelos (20). El uso intensivo y continuo de los suelos, sin aplicar buenas prácticas agroecológicas en la localidad donde se condujo la investigación, constituyen amenazas que limitan la productividad de los suelos y reducen la sostenibilidad del cultivo del cacao.

Es evidente que una mayor pérdida de suelos productivos dañaría severamente la producción de alimento y la seguridad alimentaria. Esta pérdida puede ser restringida mediante el manejo sostenible de suelos, utilizando el conocimiento científico, local y tecnologías apropiadas.

Respecto a los rendimientos productivos, en la Figura 3 se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, a favor del tratamiento 3, cuyo rendimiento promedio (1,18 t ha⁻¹) seguido de los tratamientos T1, T2 (0,87 t ha⁻¹ y 0,90 t ha⁻¹, respectivamente), superiores al promedio local (0,40 t ha⁻¹). Por otra parte, el valor de rendimiento más bajo lo obtuvo el tratamiento testigo, cuyo resultado pudo estar relacionado con las constantes pérdidas de suelo y con ello la degradación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

El suelo es un recurso agotable, lo que significa que su pérdida y degradación es una amenaza para la seguridad alimentaria. Pero, la pérdida de suelo puede reducirse en gran medida con prácticas de gestión sostenible del suelo como las barreras vivas y muertas o cultivos de cobertura que protejan la superficie del suelo de su pérdida por erosión y degradación. Por ello, proporcionar información a los responsables del manejo del suelo acerca de los procesos de erosión y sus consecuencias con base en una evaluación fiable de vulnerabilidad y niveles de riesgo, es un paso necesario para su prevención y control (17).

Por esta razón, las alternativas de manejo agroecológico de suelo adquieren significación ante el deterioro por efecto



T1. Barrera viva + barrera muerta, T2. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica, T3. Barrera viva + barrera muerta + materia orgánica + *Canavalia ensiformis* L., T4. Testigo absoluto (sin ninguna medida de conservación). Medias con letras iguales no difieren entre sí (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $p \leq 0,05$)

Figura 3. Rendimientos promedio de cacao de los dos años por cada tratamiento

de precipitaciones e intensidad en la región. A la vez, las medidas son indispensables para el soporte y suministro de nutrientes y sostenimiento del agroecosistema de producción de cacao, dentro del margen de la agricultura ecológica y sostenible, donde solo puede ser obtenida mediante el manejo integrado de suelos.

CONCLUSIONES

- La aplicación de las alternativas de manejo agroecológico influye de manera significativa en el mejoramiento de las propiedades químicas estudiadas del suelo Pardo sialítico, ócrico y la disminución de las pérdidas de suelos hasta límites permisibles en el agroecosistema cacaotero.
- La alternativa más eficiente en el manejo agroecológico de suelo para *Theobroma cacao* L. fue la combinación de barreras vivas y muertas más los abonos orgánicos generado de la especie leguminosa *Canavalia ensiformis* L., con rendimientos agrícolas de 1,18 t ha⁻¹, superiores a la media local y nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Moreira CB, Naves SN, Curi PV, Gomes B. Erosão hídrica pós-plantioem florestas de eucalipto nabacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2014, 38 (5): 1565-1575. Available in: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500022>.
2. Li Z, Fang, H. Impacts of climate change on water erosion: a review. Earth-Sci. Rev. 163: 94-117. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.earscirev> . 2016.10.004.
3. FAO. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma, Italia. (2016). Conservación de suelos y aguas en América Latina y el

Caribe.[Internet] Available from: <http://www.fao.org/americas/perspectivas/suelo-agua/es/>

4. Zare M, Nazari S.A, Mohammady M, Salmani H, Bazrafshan J. Investigating effects of land use changescenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. Int. J. Environ. Sci. Technol. 2017; 14(1): 1905-1918. doi: <http://doi.org/10.1007/s13762-017-1288-0>.
5. FAO Noticias. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse [Internet]. [Cited 2018 Apr 3]. Available in: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
6. FAO, GTIS. Estado mundial del recurso suelo (EMRS). Resumen técnico. Roma. 2015.
7. Marzen M, Iserloh T, De Lima J, Fister W, Ries J. Impact of severe rain storms on soil erosion: experimental evaluation of wind-driven rain and its implications for natural hazard management. Sci Total Environ. 2017; 590: 502-513. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scitot-env.2017.02.190>.
8. Riverol, M, Aguilar Y. Alternativas para reducir la degradación de los suelos en Cuba y el enfrentamiento al cambio climático, sembrando en tierra viva. 1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones Manual de agroecología; 2015. 132p.
9. Márquez JJ, Aguirre MB. Cacao con dominación de Origen, metodología para su obtención en el Consejo Popular de Sabanilla en el Municipio Baracoa.1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones ACTAF, 2010. 62p.
10. ONEI (Oficina Nacional de Estadística e Información). Anuario estadístico de cuba 2018, agricultura, ganadería, silvicultura y pesca Edición 19. República de Cuba. Available from. <https://www.directoriocubano.info/cuba/la-oficina-nacional-de-estadisticas-e-informacion-onei-de-cuba-presenta-su-edicion2019/>
11. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba.1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones INCA, 2015. 93p.
12. Paneque, PVM, Calaña, NJM, Calderón, VM, Borges BY, Hernández GTC, Caruncho CM. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. 1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones INCA; 2010. 157 p.
13. Mendoza ME. Métodos de clavos y rondanas. In: Somarriba M, Obando M, Alonso J. Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. [Cited 2019 Dic 18]. Available in: https://www.academia.edu/26567071/Manual_de_m%C3%A9todos_sencillos_para_estimar_erosi%C3%B3n_h%C3%ADdrica , 2005. p. 10-15.
14. Suárez G. Zonificación edafoclimática de Theobroma cacao L. en el macizo Nipe Sagua Baracoa [Tesis de doctorado] INCA, 2014.100P
15. Vanwalleghem T, Gómez J, Amate J, González de Molina M, Vanderlinden K, Guzmán G, Van Den Eeckhaut M, Poesen J. Impact of historical and use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. Anthropocene. 2017, 17(1): 13-29. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.01.002>

16. Hancock G, Verdon-Kidd D, Lowry J. Soil erosion predictions from a land scape evolution model: an assessment of a post-mining land for musing spatial climate change analogues. *Sci. Total, Environ.* 2017, 601-602, 109-121. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.038>
17. Prager MM, Sanclemente OE, Prager J, Miller DI. y Ángel Sánchez. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*, 7: 53-62, 2012.
18. Hu C, Xia X, Chen Y, Han X. Soil carbon and nitrogen sequestration and crop growth as influenced by long-term application of effective microorganism compost. *Chilean Journal of Agricultural Research* 2018, 78: 13-22.
19. Hernández CE, Carrazana B, Ríos C, Muñoz P, González O. Evaluación de manejo conservacionista en suelo Pardo Grisáceo. 1st Ed. La Habana, Cuba: Ediciones Centro agrícola; 2015, 42 (3): 33 p.
20. Aguilar, Y.; Castro, N.; Peña, F. y Riverol, M. Cuantificación de la erosión y medidas para su control y estabilización en la finca La Rosita al norte de la provincia de la Habana. In: XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba: 2001. Boletín No 4. 195p
21. MINAG. Ministerio de la Agricultura. Instrucciones Técnicas para el cultivo del Café y el Cacao. La Habana, Cuba: CIDA, 1987. P.147-208.
22. Núñez-Cano JI, Villarreal-Núñez JE, Gordón-Mendoza R, Franco-Barrera JE, Jaén-Villarreal JE, Sáez-Cigarruista AE. Retención de fósforo en suelos dedicados al cultivo de maíz en la Región de Azuero. *Ciencia Agropecuaria*, 2018. 29, 65–78. Available in: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/cienciaagropecuaria/article/view/15>
23. Teixeira H, Bianchi F, Cardoso I, Tiftonell P, Peña M. Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 2021, 305: 107171. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107171>
24. Kluepfel M, Lippert B. Cambiando el pH del suelo. Home & Garden Information Center 2021. Available in: <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-phdel-suelo>
25. Anda M, Shamsuddin J, Fauziah C I. Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Soil and Tillage Research*, 2013. 132, 1-11.
26. Chen S, B Lin, Y.Li, S Zhou 2020. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. *Geoderma* 357: 113937. 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113937>