



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

**TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO**

Titulo: Programa de acciones y alternativas de mejoras para
mitigar la erosión en la Cooperativa de Producción
Agropecuaria “Mártires de Barbados”

Autor: Vanie López la Rosa

Tutores: MSc. Olimpia Nilda Rajadel Acosta

Ing. Orlando M. Stable Rodríguez

Consultante: Tec. Osmany García

Curso 2019-2020

Pensamiento

“Solo la ciencia, la técnica y la productividad por hectárea podrán enfrentar el grandioso desafío que tiene por delante un planeta que se empobrece y cuya tierra agrícola y agua potable disminuyen año por año.”

Fidel Castro

Agradecimientos

- ❖ A la Revolución Socialista por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional.
- ❖ Agradezco eternamente a mi mamá por ser mi guía mi ejemplo y estar siempre a mi lado en los momentos buenos y malos.
- ❖ A mi papá Juan por su apoyo incondicional en la realización de este sueño.
- ❖ Agradezco a mi tutora, la MSc. Olimpia Nilda Rajadel Acosta que además de ser una magnífica tutora, supo ser una gran amiga, brindándome no solo su amplio conocimiento, sino también su confianza y sabios consejos, sin los cuales este trabajo no hubiera culminado satisfactoriamente.
- ❖ A mi segundo tutor Ing. Orlando M. Stable por toda su ayuda y conocimientos que me brindó durante este tiempo.
- ❖ Al productor Osmani García el cual jugó un papel importante y decisivo en este trabajo.
- ❖ A mi novia por toda su ayuda, paciencia y amor.
- ❖ A mi tía Marlene Almeida y mi prima Yinet por su gran ayuda.
- ❖ A mis hermanos por preocuparse por mis estudios.
- ❖ A todos los profesores que han aportado a mi preparación como ingeniero.
- ❖ A todos mis familiares y amigos que de alguna manera han contribuido con su ayuda y apoyo, pues este logro también es suyo.

Dedicatoria

A mi madre

Resumen

En la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”, se realizó una investigación no experimental con el objetivo de estructurar un programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión en dicha cooperativa, partiendo de los factores que condicionan pérdidas en este recurso. En el diseño de investigación se emplearon métodos teóricos y prácticos, entre los que destacan revisión documental, encuestas, entrevistas, trabajo en grupo como el taller de sensibilización y mediciones de campo, con el fin de analizar el comportamiento de variables climáticas que inciden de forma directa en las pérdidas de suelo por erosión hídrica fundamentalmente. Como resultados fundamentales se identificaron las afectaciones de los procesos erosivos que muestran los suelos de uso agrícola en la cooperativa objeto de estudio, se seleccionaron las variables que se consideran asociadas a la erosividad (fuerzas activas) y erodabilidad (fuerzas resistentes) del suelo, así como, los factores de variación relacionados con el relieve, el uso y el manejo del suelo para evaluar la pérdida de suelo y se identificaron las principales acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y garanticen la sostenibilidad productiva de suelos de la cooperativa. Como principal conclusión destaca que, el Programa de acciones y alternativas de mejoras para mitigar la erosión de suelos elaborado para la cooperativa objeto de estudio, es adecuado a los propósitos para los que se propone y su implementación lo convertirá en herramienta eficaz para el manejo del suelo, de cultivo y el clima, con énfasis en la erosión hídrica.

Palabras clave: acciones y alternativas de mejoras erosión; erosividad; erodabilidad; conservación del suelo; degradación del suelo; producción sostenible.

Abstract

In the “Mártires de Barbados” Agricultural Production Cooperative, a non-experimental investigation was carried out with the objective of structuring a program of actions and improvement alternatives that mitigate the erosion in said cooperative, based on the factors that condition losses in this resource. In the research design, theoretical and practical methods were used, among which documentary review, surveys, interviews, group work such as the awareness workshop and field measurements stand out, in order to analyze the behavior of climatic variables that influence directly in soil losses due to water erosion fundamentally. As fundamental results, the affectations of the erosive processes that show the soils for agricultural use in the cooperative under study were identified, the variables considered to be associated with the erosivity (active forces) and erodability (resistant forces) of the soil were selected, as well as, the variation factors related to the relief, use and management of the soil to evaluate the loss of soil and the main actions and alternatives for improvements that mitigate erosion and guarantee the productive sustainability of the cooperative's soils were identified. As main conclusion highlights that the program of actions and alternatives for improvements to mitigate soil erosion prepared for the cooperative under study, is adequate for the purposes for which it is proposed and its implementation will make it an effective tool for the management of the soil, cultivation and climate, with an emphasis on water erosion.

Key words: actions and alternatives of erosion improvement; erosivity; erodability; soil conservation; soil degradation; sustainable production.

Índice	
Introducción.....	1
Capítulo1. Revisión bibliográfica	8
1.1. El suelo, importancia agrícola y acciones que afectan su productividad.....	8
1.1.1. Importancia agrícola del recurso suelo.	9
1.1.2. La pérdida de la capacidad productiva del recurso suelo y sus principales causas	10
1.2. Métodos para el diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola	22
1.3. Acciones y alternativas de mejoras que mitiguen procesos de degradación, fundamentalmente, la erosión de suelos.....	27
1.3.1. Medidas para el enfrentamiento a la erosión.	28
1.3.2. Otras medidas para el control de la degradación de suelo por procesos erosivos	31
1.3.3. Estructura de Programa de acciones y alternativas frente a la erosión	32
Capítulo 2. Materiales y métodos	36
2.1. Diseño de investigación	36
2.1.1. Diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”	36
2.1.2. Identificación de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”	39
2.1.3. Propuesta de programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos de la cooperativa objeto de estudio	43

Capítulo 3. Resultados y discusión	45
3.1.1. Resultados del diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”	45
3.1.2. Resultados de la identificación de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”	56
3.1.3. Resultados de la propuesta de programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos de la cooperativa objeto de estudio	64
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Bibliografía	70
Anexos	1
Anexo 1. Datos climáticos mensuales del período 2000- 2011 de la Estación Cienfuegos.....	1
Anexo 2. Datos de lluvia (período 2016-2019) aportados por el Pluviómetro ubicado en la CPA “Mártires de Barbados”	16
Anexo 3. Agenda de trabajo para el desarrollo del Taller con productores de la CPA “Mártires de Barbados”	17
Anexo 4. Encuesta a productores directos a la producción en la CPA “Mártires de Barbados”	19
Anexo 5 Guía para la entrevista a directivos de la CPA “Mártires de Barbados” y a funcionarios de la ANAP municipal y de la Delegación Municipal MINAG	22
Anexo 6. Test de conocimientos aplicada para seleccionar el grupo de expertos de la investigación.....	23

Anexo 7. Determinación de las pérdidas de suelo	31
Anexo 8. Medición de infiltración de agua.....	33
Anexo 9. Mapa de suelo	35
Anexo 10. Medición de Sistema de manejo	36
Anexo 11. Contenido del Programa resultado de la investigación	45

Introducción

El suelo es un recurso natural valioso que realiza funciones ecosistémicas esenciales, y proporciona bienes y servicios ambientales tales como alimento, fibra y producción de combustibles, secuestro de carbono, regulación del agua y provisión de hábitat a seres vivos (Velázquez, 2017).

También es considerado un cuerpo natural, dinámico, de una gran variación, que sirve entre otras cosas como medio para el crecimiento de las plantas; este recurso se encuentra formado por elementos y compuestos de naturaleza mineral y orgánica y por organismos vivos, así como, es el resultado de la interacción clima / organismos vivos, sobre la roca madre, condicionado por la topografía y el tiempo (Río, 2015).

Otros autores como, Silva y Correa (2009); Montanarella (2015) coinciden en considerar que es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales, de ahí su gran importancia para el desarrollo de la vida en el planeta y de modo particular, para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial.

Este recurso se encuentra sometido a una creciente presión medioambiental, provocada principalmente por la actividad humana ligada a usos agrícolas, forestales o mineros, los que no siempre aplican las adecuadas medidas de conservación (Cartes, 2016).

Asimismo, provocan su degradación otras actividades, como las industriales relacionadas con el movimiento de suelos y la ocupación de espacios naturales (impacto debido a la contaminación); el turismo, por el aporte de residuos y el uso de los paisajes; la urbanización creciente, que involucra cambios notables en el uso del suelo. Todas estas actividades están dañando la capacidad del suelo para continuar prestando plenamente la amplia gama de funciones mencionadas anteriormente (Pérez y Merino, 2015).

Son numerosas las actividades humanas, que a través del manejo del suelo conllevan, a graves consecuencias que provocan su degradación; entre éstas destacan: la erosión, la compactación, la salinidad, el encostramiento y la

disminución de fertilidad (Pando Moreno, 2003; Burbano, 2013; Gardi, et al., 2014 y Saavedra, 2015).

En reportes realizados por Sánchez (2014), es definida la degradación de los suelos, como un proceso complejo en el que varios factores naturales o inducidos por el hombre, contribuyen a la pérdida de su capacidad productiva; lo cual se extiende más allá del sitio original y representa un alto costo para la sociedad.

Un elemento a considerar es que la degradación de suelos y el de degradación de tierras no son sinónimos, pero el primero es indudablemente el componente más importante del segundo. Existen algunas aproximaciones cuantitativas de la degradación de suelos a nivel global y continental, pero resulta frecuentemente difícil comparar datos provenientes de fuentes diferentes, porque no se utilizaron los mismos criterios en la evaluación de la degradación (Zinck, 2011), esto implica que todavía no se disponga de buena información sobre las tasas de degradación de tierras, porque esto requiere seguimiento temporal; sin embargo, se ha estimado en diferentes estudios, que cada segundo se pierden aproximadamente, 8.5 hectáreas de tierras productivas (Movillon, Richards & Tumawis, 2001).

Otros investigadores reportan afectaciones por procesos de degradación, como es el caso de Oldeman (1994), que refirió que con la degradación química se afectaron 2,39 millones de km² y con la física, 0.83 millones de km², en el mundo respectivamente, estos procesos afectan las áreas agrícolas en diferentes niveles de intensidad, por lo que se puede afirmar que casi 20 millones de km², que se corresponden con el 15% de la superficie global de tierras o 66% de las tierras potencialmente arables a nivel mundial, se han visto afectadas en gran medida por dichos procesos de degradación.

Por su parte, Tejeda (2013) se refirió también a que el planeta pierde anualmente hasta siete millones de hectáreas de áreas cultivables a causa de la degradación del suelo y estimó, que para los próximos 20 años, deben desaparecer por causas antrópicas fundamentalmente, 140 millones de hectáreas, cuyas principales causas se atribuyen a malas prácticas agrícolas como: pastoreo excesivo; deforestación; entre otras.

En América Latina y el Caribe, las amenazas más graves a los suelos en la actualidad son la erosión, la pérdida de carbono orgánico y la salinización de la tierra. Según datos de la FAO (2017) el 14 % de las tierras del mundo expuestas a la degradación están en América Latina y el Caribe, a su vez señala que a nivel global, 33% de la tierra ya está degradada.

Según Sánchez (2014) este proceso degradativo provoca afectaciones tanto en el aspecto sociopolítico como en el orden medioambiental, ya que son necesarias inversiones cada vez mayores para mantener los niveles de producción. Para este autor, en Cuba este proceso en gran medida se manifiesta por el inadecuado manejo y explotación de los suelos, conjuntamente con el comportamiento de las condiciones climáticas, topográficas y edafológicas, que han dado lugar a la ocurrencia de procesos degradativos como la erosión, calificada en rangos entre fuerte a media.

En reportes realizados por Agudelo, Torrente y Vargas (2015) se planteó también, que los procesos de pérdidas del suelo, especialmente en zonas de ladera, tienen un amplio efecto a nivel de cuencas, ya que es donde se presentan altos porcentajes de erosión, remoción en masa y/o sedimentación, con valores muy altos de degradación. Por esta razón, diversos investigadores se han propuesto estudiar este fenómeno y las prácticas que favorecen la conservación del recurso suelo, así se ha evidenciado en la literatura consultada que los primeros resultados, han conducido a la formulación e implementación de estrategias en zonas de gran presión, como los sistemas de producción, por la falta de manejo en su explotación, pues el manejo se tiene o no y si hay prácticas indebidas, lo que hay es falta de manejo.

Cabe resaltar que la cobertura vegetal aporta servicios ecosistémicos (SE, aspectos del ecosistema utilizados activa o pasivamente para producir bienestar humano) de regulación y de soporte, ya que participa en la regulación de los gases (secuestro de carbono), en la regulación de procesos climáticos locales y globales (influencia sobre la temperatura, las precipitaciones, el viento y la humedad), en la regulación del ciclo hidrológico y en el control de la erosión (Burbano, 2016).

Los servicios ecosistémicos son cruciales en el desarrollo económico y el bienestar social, no obstante, han sido ignorados a lo largo de los años y consecuentemente degradados. Aunque gran parte de la población se ve afectada por la degradación producida en estos ecosistemas, este problema no se toma plenamente en consideración para el establecimiento de procesos de planificación agrícola, sobre todo en países subdesarrollados (Vargas, 2010).

Para el desarrollo de medidas efectivas, los tomadores de las decisiones precisan de entender el funcionamiento de los ecosistemas, cómo los seres humanos son beneficiarios de los servicios que proveen los ecosistemas; así como, deben conocer cómo es el impacto las actividades humanas en el estado de los servicios ecosistémicos y a su vez, cómo estas actividades pudieran tener un control más efectivo a través de diferentes vías, entre lo que muy importante el establecimiento de políticas públicas encaminadas al control del uso, manejo y conservación de los servicios ecosistémicos en las diferentes actividades socio-económicas que se desarrollan sobre el recurso suelo (Burbano, 2016).

Cualquier estrategia que pretenda garantizar procesos de conservación, deberá considerar la importancia de los sistemas productivos, ya que ellos, representan unidades en las que los agricultores toman las decisiones para garantizar el bienestar de la familia a partir de la explotación de los recursos naturales; por lo tanto, se deben realizar propuestas concretas, en función mejorar la eficiencia de estos en lo relativo a su capacidad de reproducir el bienestar social y garantizar la conservación de los recursos, por lo que se plantea que estos deben ser sistemas productivos sostenibles, donde los procesos de producción y/o extracción es compatible con la lógica de la conservación del entorno natural y que articulados a procesos de concertación social y conservación de áreas naturales, permiten la reducción de la presión sobre estas Cartes (2016).

En este sentido, los Sistemas Productivos Sostenibles como mecanismos de conservación inciden en procesos de desarrollo local desde las parcelas, los territorios y las regiones. En el caso de Cuba, como vía para mitigar procesos de degradación de los sistemas productivos, se conformó en el año 2005, el Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de Suelos (coordinado por el

Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura), cuyo objetivo principal es financiar las acciones encaminadas hacia la mitigación de la degradación de este recurso natural y crear las condiciones que permitan su rehabilitación (Tejeda, 2013).

En la actualidad, más del 40 % de los suelos cubanos muestran afectaciones por erosión, siendo la erosión potencialde 56 % (Martínez, et al., 2017), lo cual es alarmante si se considera que, el primer signo de la reacción en cadena desatada por este factor, es la disminución del rendimiento agrícola.

A partir de la información aportada por los estudios de suelos en diferentes partes del mundo y en Cuba, se ha visto la necesidad de aplicar acciones encaminadas a la mejora y conservación de suelos para contrarrestar/ mitigar los efectos negativos causados por procesos erosivos. Entre estas acciones destacan: siembra de plantas de coberturas y abonos verdes, uso de estiércol y abonos orgánicos, labranza conservacionista o labranza mínima, empleo de sistemas agroforestales, siembra en curvas a nivel o siembra al contorno, barreras vivas, barreras o muros de piedra, terrazas individuales, entre otros. (FHIA, 2011).

En países como Argentina, Australia, Venezuela, China, España, entre otros, se han encaminado estudios para llevar a cabo acciones de mitigación de procesos de erosión con diferentes alternativas, como es el caso del empleo de las costras biológicas de suelo (CBS), las cuales según Belnap y Lange (2001), se forman a partir de una íntima asociación entre las partículas del suelo y una compleja comunidad de microorganismos que comprenden bacterias, algas, hongos, musgos y líquenes que viven sobre la superficie o en los primeros milímetros del suelo, los cuales crean una capa delgada, cohesiva y horizontal que contribuyen a evitar la pérdida de partículas del suelo por efecto eólico o hídrico.

Según estudios preliminares efectuados a nivel local, por especialistas del Ministerio de la Agricultura en la provincia de Cienfuegos y de modo particular, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Mártires de Barbados, ubicada en el Consejo Popular Rancho Luna, que pertenece al municipio de Cienfuegos, quedó evidenciado que en los suelos de uso agrícola de dicha unidad, predominan

el tipo desuelos Aluvial , según criterios de la II Clasificación de los Suelos de Cuba a escala 1: 25 000 (IS, 1998).

En dicha cooperativa, se han producido procesos de degradación de suelo provocado por fenómenos naturales, (inundaciones, sequías intensas, el manto freático salinizado por la intrusión marina), pero que también tienen su causa, en la actividad antrópica desarrollada en años de explotación intensiva, encontrándose a la erosión como uno de los procesos de degradación que con mayor influencia ha incidido negativamente sobre los cultivos y sus resultados agrícolas; afectando más del 50 % de la superficie cultivada.

Sin embargo, en visitas y recorridos realizados recientemente a esta unidad, se apreció que no se existen evidencias de la implementación de medidas de conservación de suelos y que tradicionalmente, no se emplean prácticas agrícolas para la mejora de estos suelos, como, por ejemplo, la aplicación de abonos orgánicos y medidas conservacionistas (Cartes, 2016).

También de forma preliminar, se evidenció la presencia de CBS en las áreas donde se muestran afectaciones por procesos de degradación como la erosión, por lo que se han emprendiendo un grupo de acciones de investigación por parte de la Universidad de Cienfuegos, con vistas al estudio sobre los beneficios de las diferentes morfoespecies que componen las CBS y su posible vínculo con la mitigación del impacto negativo de los procesos erosivos presentes en los suelos de tipo Aluvial predominantes en dicha unidad agrícola.

Con el análisis de estos antecedentes, se identificó como problema científico para el desarrollo de la presente investigación:

Problema científico. ¿Cuáles serán las acciones y alternativas de mejora que permitirán mitigar el impacto negativo del proceso erosivo del recurso suelo existente en áreas agrícolas de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados” a partir de la determinación de los factores que condicionan las pérdidas de este recurso?

Hipótesis. Conociendo los factores que condicionan las pérdidas de suelo en las áreas agrícolas de la CPA Mártires de Barbados, se podrán proponer acciones y alternativas de mejora que faciliten mitigar el impacto negativo del proceso erosivo

del recurso suelo existente en sus áreas agrícolas y garanticen su sostenibilidad productiva.

Para dar cumplimiento a lo anterior, se diseñaron como objetivos de investigación los siguientes:

Objetivo general. Estructurar un programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión en la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”, partiendo de los factores que condicionan pérdidas en este recurso.

Objetivos específicos

- Diagnosticar los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”.
- Identificar acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”.
- Proponer programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos de la cooperativa objeto de estudio.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica

El medio ambiente está en peligro por diversas amenazas que incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas, por ocurrencia de desastres de origen natural y artificial (antrópico), haciéndose imprescindible conocer los problemas ambientales para ganar en conciencia de su importancia, y así se garanticen acciones para protección y recuperación de la naturaleza (Pérez y Merino, 2015).

Históricamente, la forma de vida del ser humano se transformó, desarrollando tecnologías para diferentes trabajos de manera más sencilla y eficaz, creciendo paralelamente el impacto ambiental (global y local); estableciéndose mayor uso de los recursos naturales, provocando su disminución, fundamentalmente, los no renovables y ha cambiado los ecosistemas, por lo que estos se vuelven más vulnerables ante procesos de degradación y de desastres (Santos, 2018).

El recurso suelo, es el más afectado por las acciones antrópicas y naturales; pero no se reconoce y aprecia como los demás recursos naturales, por lo cual la sociedad en general, está menos preocupada por la degradación de suelos y destruyen en pocos años, lo a la naturaleza le cuesta miles de años para formar. Ante esto, es preciso llamar la atención sobre la gravedad y la magnitud de la degradación de suelos, con énfasis en daños causados por acciones humanas.

1.1. El suelo, importancia agrícola y acciones que afectan su productividad

Existen diferentes conceptos para definir el suelo, pero se asumen en esta investigación, los que relacionan al recurso con su uso agrícola.

Según Dokuchaev (1886), el suelo es un cuerpo natural independiente, con morfología propia, producto de la resultante entre el material geológico o material madre del suelo, con un conjunto de factores que actúan durante su desarrollo como el clima, la biota, el relieve local y el tiempo en el que todos ellos interactúan.

En tanto, Sánchez (2014), lo define, como el producto de la alteración, del movimiento y de la organización de las capas superiores de la corteza terrestre bajo la acción de la vida, de la atmósfera y de los intercambios de energía que en ella se manifiestan; además, es un medio complejo y dinámico que evoluciona

bajo la influencia de factores externos (hidrosfera, atmósfera y biosfera), y sus propiedades se adquieren bajo la acción combinada de estos.

Más recientemente, Fernández (2018), lo define, como un componente fundamental en los ecosistemas terrestres para la nutrición y soporte de las plantas; siendo indispensable para la producción agropecuaria, de su conservación y manejo, depende la sostenibilidad y seguridad alimentaria.

1.1.1. Importancia agrícola del recurso suelo

El suelo es importantísimo para la sostenibilidad de los ecosistemas naturales y agrarios, constituye un reservorio temporal en el ciclo del agua, la que filtra y depura en su recorrido hacia los acuíferos; sirve de soporte a los seres vivos del ecosistema, para su ciclo vital (Espejo, 2016).

Calonge (2019), lo considera una parte importante del desarrollo de la vida, e infiere que su importancia radica en las funciones que desempeña en el medio ambiente y para la socio- economía, como se muestra en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Funciones que desempeña el suelo en el medioambiente

Funciones	Descripción de las funciones
Producción de biomasa	Sustrato de plantas, animales y microorganismos que contribuyen a crear un medio básico para la producción primaria de los ecosistemas terrestres, aportando aire, agua y nutrientes.
Regulación medioambiental	Protector del agua por su capacidad amortiguadora, transformadora y de filtración, ante contaminantes procedentes de la atmósfera y otras fuentes; Regulador de los aportes de agua externos, reduciendo el impacto de fuertes precipitaciones sobre otros sistemas (ríos, lagos, acuíferos).
Hábitat biológico	Hábitat de gran número de especies, como microorganismos de vital importancia, para la descomposición, conversión y síntesis de sustancias orgánicas para cerrar los ciclos de la materia orgánica y de otros elementos.
Otros beneficios	Soporte de viviendas e infraestructuras. Industriales y socioeconómicas; fuente de materias primas para numerosas actividades (extracción de turba, grava, arena, arcilla, rocas); protege restos arqueológicos y actúa como memoria histórica de sucesos catastróficos, impactos antrópicos, etc; fuente de información geológica y geomorfológica, constituyendo una herencia de procesos climáticos, geomorfológicos y edafológicos pasados.

Fuente: elaboración propia

1.1.2. La pérdida de la capacidad productiva del recurso suelo y sus principales causas

El suelo en estado natural, está en equilibrio dinámico con su entorno natural, interactuando con la biosfera; sin embargo, la actividad biótica altera sus propiedades, por lo que, los principales cambios adversos en estas, reducen su capacidad productiva; su degradación conlleva a cambios en propiedades y procesos con el tiempo, influenciado por alteración de su equilibrio dinámico con el entorno ante perturbaciones, ya sean naturales o antrópicas (Calonge, 2019).

Las perturbaciones naturales son bajas, y el suelo se adapta a las nuevas condiciones; estas perturbaciones pueden ser rápidas con cambios drásticos. Sin embargo, las antrópicas son más rápidas, perturban el balance suelo / medio ambiente, y ocasionan alteraciones fuertes en sus propiedades y procesos (Espinosa, Andrade, Rivera y Romero, 2011).

Actualmente, los datos sobre degradación de suelos disponibles, son en su mayoría derivados de los levantamientos de suelos, que muchos datan de fines del siglo pasado, sin actualización desde entonces por diversas causas, entre ellas predominan lo económico y la forma poco entendible para los usuarios en que se presenta la información edáfica frecuentemente, constituyendo limitantes para su uso en la solución de problemas prácticos del sector agropecuario (Zink, 2011).

• **Degradación de los suelos.** Es un proceso complejo, donde factores naturales y humanos (fundamentalmente su uso y manejo) contribuyen a la pérdida de la capacidad productiva del suelo. (Cartes, 2016). Según la Real Academia de la Lengua Española (RAE, 2019), se entiende por degradación de suelo, a la acción y efecto de degradar o degradarse.

Investigadores como Arias (2010) y Arias (2016), definen a la degradación de los suelos como, proceso complejo en el que varios factores naturales o inducidos por el hombre contribuyen a la pérdida de su capacidad productiva; se extiende más allá del sitio original y representa un alto costo para la sociedad, no sólo provoca afectaciones en el aspecto sociopolítico y en el orden medioambiental, sino, además, en el orden económico, ya que son necesarias inversiones cada vez mayores para mantener los niveles de producción.

Por su parte Encarnación (2013) plantea que, la degradación es un problema multidisciplinar y multicausal, que esconde generalmente, a un conjunto de procesos interrelacionados (físicos, químicos, etc.) que se manifiestan a diferentes niveles de resolución, tanto espacial como temporal y que dicha degradación, debe ser contemplada como la convergencia de factores climáticos, geomorfológicos y antrópico, sobre un medio vulnerable que presenta la tendencia a serlo aún más, por el efecto invernadero global.

De modo general, diferentes investigadores consideran que la interrelación factores físicos o naturales / los factores culturales o humanos, incide directamente sobre las características del suelo, provocando consecuencias (niveles de acidez, alcalinidad, nutrientes, materia orgánica, otros), que alteran el equilibrio entre sus propiedades y conllevan a su degradación, disminuyendo su potencial productivo, la rentabilidad de los sistemas agroproductivos, haciéndolos no sostenibles. Entre las principales causas de degradación según Encarnación (2013), se encuentran explicitados en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Principales causas de degradación de suelos

Causas		
Características propias del suelo	Naturales	Antrópicas
Material de origen, pendiente, profundidad, textura y estructura.	Frecuencia, intensidad y cantidad de las precipitaciones.	Adopción de malas prácticas agrícolas (cultivos en pendiente, exceso de laboreo, escasa fertilización, uso de fertilizantes acidificantes, exceso de plaguicidas, desprotección del suelo, entre otras).

Fuente: elaboración propia

Este investigador también refirió que, en función de su origen, pueden considerarse como principales causas de la degradación los siguientes factores:

a) Factores naturales (edafoclimáticos)

- **Clima.** Los climas áridos, semiáridos y sub-húmedos, con largos periodos de sequía y lluvias súbitas de gran intensidad y poder de arrastre, propician la erosión.
- **Radiación solar.** Aumento de valores de la reflexión en la superficie del suelo

- Antecedentes geomorfológicos.Influencia del relieve y de características de la subsuperficie por erosión, suelos en pendiente más vulnerables.
- Características del suelo. Suelos con marcada tendencia a erosión, formación de cortezas superficiales, salinidad, bajo contenido en humus.
- Características fitogeográficas. La cobertura vegetal mantiene la estructura del suelo y lo protege de la erosión, por lo que, favorecerá la degradación del suelo: baja densidad de cobertura vegetal; desarrollo estacional; predominio de especies xerófilas y suculentas; escasa producción de biomasa.
- Características hidrológicas.Ausencia o baja densidad de caudal de ríos y arroyos; recurrencia de inundaciones y enfangamientos

b) Factores antropogénicos

- Deforestación por manejo no conservacionista** de montes y bosques y por incendios: talas y quemas irracionales para la explotación de madera o expansión de fronteras agrícolas o urbanas.
- Prácticas agrícolas inadecuadas:**uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos; quemas de rastrojos; exceso de labranza; utilización de maquinaria pesada que compacta el suelo disminuyendo su porosidad; cultivos intensivos.
- Desarrollo de sistemas y métodos de riego inadecuados**que originan procesos de salinización que afectan negativamente a las plantas y al suelo.
- Utilización de zonas marginales**no aptas para la agricultura. Técnicas de cultivo inadecuadas (no conservacionistas) para terrenos con mucha pendiente.
- **Excesiva carga animal:**sobrepastoreo, que compacta el suelo al tiempo que empobrece la cubierta vegetal y lo expone a la erosión.
- Explotación insostenible de los recursos hídricos**, contaminación, salinización y agotamiento de los acuíferos.

c) Factores sociales y políticos: densidad de población e infraestructuras.

Por otra parte, La Rosa (2018), conceptualizó a la degradación del suelo, como el proceso debido al cual, las propiedades edáficas, sufren alteraciones importantes como consecuencia de actividades antrópicas inadecuadas, o procesos naturales, los cuales, ponen en riesgo a los suelos, y en especial, a los más vulnerables, (áridos y semiáridos), dando lugar, a la reducción de su productividad o

convertirlos en inservibles para su uso agrícola, produciéndose el abandono o la despoblación.

- **Diferentes tipos de degradación de suelos.** En la literatura consultada, autores como Ferreti (2016) y Eiza (2020) refieren la existencia de procesos de degradación como: compactación, salinidad, erosión, acidez, entre otros, que están íntimamente relacionados con propiedades del suelo; así como, con su uso y manejo, por lo son agrupados en tres tipos de clasificación e detalla a continuación:

A-Degradación física: compactación, erosión y anegamiento.

B-Degradación química: pérdida de fertilidad, salinización, acidificación, alcalinización y contaminación.

C-Degradación biológica: no aplicación de residuales orgánicos para estabilizar la materia orgánica del suelo (MOS), incendios y prácticas agrícolas.

Por el nivel de incidencia en los suelos de uso agrícola en el mundo y en Cuba, en el presente trabajo se hace referencia solamente a los procesos erosivos y los tipos de erosión que se han identificado.

- **Proceso de erosión y los tipos de erosión identificados.** El término erosión proviene del verbo ERODERE, que significa roer, es empleado con frecuencia en Geología y Geografía, para expresar la acción de los procesos exogenéticos, que comprenden, a aquellos procesos producidos sobre la corteza terrestre, por lo cual, la erosión es definida proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de partículas del suelo, por agentes en movimiento que aparecen sobre la superficie terrestre (Balmaseda, Ponce de León, Juan Martín y Vargas, 2006).

Según Fernández (2018), la erosión, es un proceso degradante de suelos y en la que intervienen numerosos factores (naturales / antrópicos, que se manifestó desde que una porción de tierra emergió del mar, se sedimentó y depositó, a causa de un torrente de lava que quedó expuesto en la superficie o por descomposición de rocas sobre las que comenzaron a actuar agentes exógenos como: atmósfera, agua superficial y otros (ciclo geológico de destrucción y nueva formación).

Otros investigadores como Gómez y Solorzano (2018) la han conceptualizado también como, afectaciones que se producen como consecuencias de las labores agrícolas, lo que afecta la calidad de infiltración, capacidad de retención del agua, disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica, actividad biológica, profundidad efectiva del suelo, y su productividad; demostrándose que la erosión por labranza es tan degradante, como por causas hídricas, por aumentar la susceptibilidad del suelo, al romper los agregados de forma más uniforme y aumentar la erodabilidad, inclusive con lluvias de baja intensidad.

Por su parte Balmaseda, Ponce de León, Martín y Vargas (2006) hacen responsable a las gotas de lluvia, del desprendimiento de las partículas de suelo. A medida que aumenta la cantidad de suelo desprendido, se cierran los poros y disminuye su capacidad de infiltración y genera que, cuando la cantidad de agua es menor que la potencialmente infiltrable, toda la lluvia puede penetrar en el perfil, sin producir escurrimiento; pero cuando este volumen supera a la infiltrada, corre sobre la superficie siguiendo la pendiente, produciéndose la escorrentía, dando inicio al segundo proceso erosivo (acarreo), ya que la corriente de agua arrastra las partículas desprendidas por la lluvia; su mayor desplazamiento se produce cuando la altura de la lámina de agua de la escorrentía, es aproximadamente igual al diámetro de las partículas. Los tipos de erosión determinados por la escorrentía son:

a) Erosión: considerado proceso físico consistente en la remoción del estrato superficial del terreno por el efecto del agua, ya sea por gotas, la lluvia o el escurrimiento; constituye una forma de degradación del suelo, responsable junto a otros procesos superficiales, de las diferentes geformas de la superficie terrestre. La hídrica, determina el dinamismo del relieve y permite su continua remodelación, como uno de los principales procesos geomorfológicos que da lugar a la diversidad de formas en distintas condiciones ambientales (Saavedra, 2015).

La erosión hídrica es un proceso de tres fases que consiste en el desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y su transporte por una corriente de agua. Cuando ya no existe la suficiente energía para transportar las partículas, éstas se depositan y una tercera fase ocurre. Estos tres procesos o fases se

subdividen a su vez en cuatro tipos o formas (FAO, 2017). • erosión superficial difusa o laminar; • erosión lineal o concentrada, en surcos o canalillos y en cárcavas; • erosión subterránea por minado, en galerías y • movimientos en masa superficiales (masiva).

La erosión de tipo lineal o laminar, consideradas como grados de erosión de extremos a fuertes, los cuales incluyen evidencias de cárcavas o surcos. En el caso de la masiva, el grado de erosión moderado, incluye a deslizamientos naturales de laderas escarpadas por causa de falla o fractura geológica, al igual que las formas de erosión anteriores, los procesos erosivos han sido acelerados por las actividades humanas. Cabe destacar, que la erosión en cárcavas, como principal proceso de degradación del suelo, representa un importante indicador de desertificación y contribuye con un 10% a 94% de la producción total de sedimentos, por lo tanto, es de suma importancia entender este proceso (González, Bojórquez, Flores, Murray y González, 2016)

Debido a lo anterior, estudios recientes han abordado el impacto de los cambios graduales o repentinos en los sistemas de uso y explotación de la tierra y su influencia sobre la iniciación y desarrollo de cárcavas, encontrándose que estos, han conllevado a la iniciación y el avance de cárcavas, a partir del cultivo de zonas montañosas, ineficiencias en los sistemas de riego y desarrollo de sobrepastoreo (Moreno, et al.,2017); mientras que (Monroy, Álbarez y Alvarado, 2017) atribuyen la iniciación de las diferentes formas de erosión (rills, cárcavas efímeras y permanentes) a la excesiva deforestación. Por otro lado, en algunas zonas áridas el desarrollo de la erosión en cárcavas se vincula al déficit de cubierta vegetal y a la alta variabilidad de las precipitaciones (García, Beguería, Lana & Nadal, 2017).

La importancia de la erosión hídrica como proceso geomorfológico, radica también, en los cambios que produce en el funcionamiento ambiental del suelo y la capacidad de éste para sostener usos futuros, generándose impactos en el sitio (in situ) a través de la pérdida directa del suelo, y fuera del sitio (off situ) por la exportación de sedimentos hacia las zonas aguas abajo (Tauta, 2017). Al mismo tiempo, ocurre la descomposición de la estructura del suelo, haciendo que las tasas de infiltración de agua se reduzcan; así como, se arrastre el sedimento y se

acumule en arroyos, ríos y embalses, degradando también la calidad del agua (Mancilla, 2008).

De lo anterior se infiere que, las afectaciones provocadas por la erosión, dependerán de las propiedades inherentes al suelo, la litología, la topografía, el clima y otros factores que, al ser interdependientes, determinan la gravedad del proceso de erosión en un sitio y sus variaciones en el espacio y el tiempo. Sumado a esto, se destaca, que el ser humano empleando diferentes prácticas sobre el suelo (deforestación, sobrepastoreo, agricultura, urbanización, etc.), acelera de manera fundamental el riesgo de erosión (FAO, 2017).

En este sentido, las estadísticas generadas por Oldeman (1990) para fines de comparación internacional en el proyecto denominado Evaluación Mundial de la Degradación de Tierras (GLASOD, por sus siglas en inglés), por las actividades humanas, estimando una superficie total afectada de 1094 millones de hectáreas (Mha), de las cuales el 68.64% están afectadas en un alto grado y González et al. (2016), agregan que, la intensidad de las formas erosivas y la proporción de las superficies afectadas por el fenómeno de erosión hídrica, son la base de la ocurrencia de fenómenos geomorfológicos, de erodabilidad del suelo, presión antrópica y condiciones climáticas.

b) Erosión eólica: el viento según Ravi, Breshears, Huxman & Odorico (2010) es un eficiente agente de erosión y su acción, particularmente en zonas de climas áridos, semiáridos y desérticos, es responsable del transporte y deposición de grandes volúmenes de sedimentos, con desarrollo de un paisaje eólico típico, poniéndose de tres maneras:

- ✓ Por arrastre: las partículas más gruesas (500 - 2000 micrones).
- ✓ Por saltación: las partículas medianas (100 - 500 micrones).
- ✓ En suspensión: las partículas pequeñas o livianas (< 100 micrones).

A criterio de los investigadores antes citados, el poder erosivo del viento, como el del agua, aumenta de forma exponencial con la velocidad, pero, a diferencia del agua, el viento no es afectado por la fuerza de la gravedad, además, es importante para este tipo de erosión conocer la distancia que el viento puede recorrer sin obstáculos, ya que ello, le permite ganar velocidad y aumentar su potencial

erosivo, es decir, convertirse en “viento eficaz” (con la velocidad suficiente para generar un movimiento visible de partículas a nivel del suelo) para poder desalojar y transportar las mismas, de modo tal que:

-Los vientos con velocidades de menos de 12 a 19 km/h a 1 m por encima del suelo casi nunca tienen a este nivel del suelo, la energía suficiente para poner en movimiento las partículas del tamaño de la arena.

- El desplazamiento de partículas de los suelos muy erosionables, comienza normalmente cuando el viento alcanza una velocidad de avance de 25 a 30 km/h a una altura de 30 cm por encima de la superficie del suelo.

También reconocen que además de la velocidad del viento, contribuyen a la erosión eólica, elementos que pueden dividirse en dos grupos de: (1) los vinculados con las propiedades del suelo y (2) los asociados a la cobertura del suelo.

Además, refieren estos autores que, la vulnerabilidad del suelo a este tipo de erosión aumenta cuando existen condiciones de sequía de forma prolongada, y como otro factor a considerar, se encuentra la textura del suelo, por lo que los suelos de textura fina son especialmente vulnerables a la erosión del viento.

De esta breve exposición sobre las causas de la erosión eólica, se deduce claramente que la forma más eficaz de controlarla, es con la introducción de sistemas de ordenación de los sistemas agrícola, de modo que, predomine contar con suelos con cubierta vegetal para reducir la velocidad del viento y disminuir su capacidad erosiva.

Otras prácticas conservacionistas a seguir son las relacionadas con: la labranza, ya que se deben desarrollar estas labores de modo que se favorezcan las irregularidades del terreno dejando terrones en el suelo o haciendo caballones y surcos perpendiculares a la dirección dominante del viento (no pulverizar).

La eficacia de las prácticas de labranza en el control de la erosión eólica, aumenta con la introducción de cultivos con abundantes raíces, que incrementan el contenido de materia orgánica del suelo, pero no es recomendable para suelos arenosos debido a las condiciones de textura del suelo y la falta de coherencia.

Otra práctica eficaz para el control de este tipo de erosión, lo constituye también,

mantener residuos superficiales de los cultivos después de la recolección, que generalmente coincide con la temporada seca, así se mantiene la humedad superficial y esta cobertura protege el suelo y por ende, reduce la erosión.

En diferentes estudios sobre erosión, se recomienda el empleo de cultivo en franjas, ya que se reduce la anchura de la superficie de suelo expuesta, además, existen buenos resultados en este control, alternando franjas de cultivo y de barbecho o las de cultivos y pastos, sin embargo, dada la escasez de tierra, no muy usada.

Otra práctica comúnmente recomendada es la rotación de los cultivos, que además de mejorar la fertilidad del suelo, evita la exposición a la sequedad y erosión. Sin embargo, por disponibilidad de fertilizantes inorgánicos, ha perdido aceptación.

El cultivo intercalado muy frecuente en regiones áridas, donde se aplican varios sistemas, como el de la “agricultura de oasis”, se dispone la vegetación en tres alturas: dominante (palmera), más baja (frutales) y a nivel del suelo (cultivos agrícolas). Este sistema, es practicado en zonas de Iraq y del alto Egipto. Este sistema en varias alturas, permite aprovechar al máximo la energía solar, las plantas de capas superiores sirven de protección del excesivo calor y mejoran el microclima de cultivos a nivel de suelo. En consecuencia, el suelo no necesita tanta humedad y la producción agrícola por unidad de superficie aumenta y se diversifica. Se han introducido modificaciones del sistema, con árboles frutales o especies forestales en la parte superior y en la inferior cultivos.

Todo lo antes referido fundamenta, que tanto el inicio como el desarrollo de la erosión en cárcavas, se debe a procesos locales dominantes, sin embargo, todos coinciden en que la explotación de los suelos de forma intensiva y sin tener en consideración el empleo de prácticas conservacionistas, aumenta la intensidad del escurrimiento, acelerando así, el proceso de erosión.

• **Degradación de los suelos en el mundo.** Hoy el suelo, presenta un valor económico valioso en la concepción contemporánea de desarrollo, pues su grado de deterioro a nivel mundial alcanza cifras alarmantes que se relacionan con diferentes causas de degradación, las cuales ya impactan agresivamente el medio

ambiente y debe ser mitigadas con medidas inteligentes, por lo que según reportes del FAO (2007) existen en el mundo, más de 305 millones de hectáreas con alta degradación, resultado principalmente de la tasa de deforestación (más de 12.3 millones de hectáreas anuales), las prácticas agrícolas sin criterios sostenibles ni conservacionistas y el comportamiento del Cambio Climático.

Al detallar de modo particular este proceso en diferentes partes del mundo, por ejemplo, en México, se reportan más de 50 millones de hectáreas con alta degradación, proceso acelerado por el cambio de uso del suelo, deforestación de más de 600,000 ha año⁻¹ y agricultura de ladera (Huerta, 2018).

En Colombia, por su parte, los procesos de degradación más relevantes son: la erosión, el sellamiento de suelos, la contaminación, la pérdida de la materia orgánica, la salinización, la compactación y la desertificación; afectándose en gran medida a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia y que comienzan a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico.

Las causas de ocurrencia de este proceso erosiva, se atribuyen a: la gestión insostenible de los suelos, la creciente demanda de bienes y servicios procedentes de los suelos, el desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su recuperación, restauración y rehabilitación, procesos de planeación y de ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta las características de los suelos, debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de este recurso natural, la desarticulación institucional y carencia de normas e instrumentos para la gestión sostenible del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2019).

De acuerdo con datos del Ministerio brasileño de Medio Ambiente, 1,34 millones de hectáreas en once estados del país, están clasificadas como Áreas Susceptibles de Desertización (ASD), lo que afecta alrededor de 35 millones de habitantes. La situación es especialmente grave en el noreste del país, donde más de 1,26 millones de kilómetros cuadrados, según datos de la estatal Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa), se encuentran en estado de "degradación extrema" del suelo, lo que las expone a una posible desertización. (Ferreti, 2016)

En Chile, existe una superficie de 36,5 millones de hectáreas con algún grado de erosión (48,7% del territorio nacional), de los cuales 18,1 millones se encuentran en las categorías de erosión severa o muy severa. En este mismo país, se encuentran afectadas por degradación química, las regiones del Maule y de Los Lagos, constituyendo la mayor superficie de suelos con exceso de acidez y con déficit de fósforo (4,3 millones y 6,3 millones de hectáreas, respectivamente). En cuanto a la degradación biológica, se estima que 1,4 millones de hectáreas se encuentran con esta afectación (se ubican en los sectores de cordillera, precordillera y valles de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama), dada fundamentalmente, por déficit de materia orgánica, con porcentaje promedio que no supera el 1,5% (Cartes, 2016).

El Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, 1992), ha indicado que la cantidad de tierras fértiles y cultivables están disminuyendo, tanto en términos absolutos como per cápita, estimándose que las actuales áreas de tierras agrícolas tienen un per cápita de 0,28 ha, siendo el pronóstico de 0,17 ha/persona, para 2025. A continuación, en la tabla 1, se detallan de forma general las principales causas que han propiciado la degradación de suelos a escala mundial.

Tabla 1. Principales causas que han propiciado la degradación de suelos a escala mundial

Causa	Superficie afectada	
	Millones de hectáreas	Porcentaje
Pastoreo excesivo	679	35
Deforestación	579	29
Actividad agrícola	552	28
Explotación excesivas de leñas	133	7
Industrialización	23	1
Total	1,966	100

Fuente: World Resources Institute (1992)

Diferentes estudios recopilados por FAO (2015), hacen alusión al grado de deterioro de las áreas agrícolas del mundo, atribuidos a la acción negativa que

sobre el suelo han continuado incidiendo las causas antes mencionadas. En la tabla 2, a continuación, se muestran datos aportados por este organismo.

Tabla 2. Recopilación de datos acerca del Grado de deterioro de las áreas agrícolas en el mundo

Grado de deterioro	Millones de hectáreas	Porcentaje
Leve	749	38,1
Moderada	910	46,3
Grave	296	15,1
Extrema	9	0,5
Total	1.964	100

Fuente: reportes FAO (2015)

Esto significa que 1 215 000 000 ha, que representan cerca de los once por ciento de la superficie total de la Tierra, se degradaron a tal punto, que sus funciones bióticas originales se han visto dañadas y su rehabilitación es costosa y en algunos casos, imposible (FAO, 2015).

Si se considera que, en el grado leve son 749 000 000 ha, desde el término de la Segunda Guerra Mundial a la fecha, esto significa que se han degradado el 17% de todas las tierras del mundo que originalmente tuvieron cubierta vegetal.

- **Degradación de los suelos en Cuba.** En investigaciones realizadas por diferentes especialistas entre las que destacan los resultados aportados por Martínez et al. (2017) la degradación de los suelos de Cuba, data de décadas anteriores a 1945, ya que la deforestación comenzó en 1812, (89% de superficie boscosa del país), deteniéndose a partir de 1959 y en el período desde 1959-2003, los bosque naturales y artificiales en Cuba se han incrementado en 59,2%, beneficiándose a su vez, la biodiversidad y sin lugar a dudas, a actividad forestal incrementada, ha contribuido de forma significativa, a la protección, conservación y mejoramiento de los suelos y las aguas.

Otros estudios como los de Arias (2010) aseguran que, en Cuba, el proceso de degradación de suelos, se debe en gran medida al inadecuado manejo y explotación de este recurso, conjuntamente con el comportamiento de las condiciones climáticas, topográficas y edafológicas, que han dado lugar a la ocurrencia de procesos degradativos como la erosión (entre fuerte a media).

Tejeda (2014) asegura que uno de los procesos de degradación que más ha afectado a más del 40 % de los suelos cubanos, es la erosión, lo cual ha dado lugar a la disminución del rendimiento agrícola. Estos resultados han sido objeto de análisis del Estado cubano, emitiéndose normas legales como el Decreto 179 (Minag,1993), que establecen las acciones para el uso y manejo del suelo, tanto por entidades estatales como no estatales, de modo que prevenir su deterioro es más eficiente y eficaz, que invertir en su recuperación, y se resalta la importancia de aplicar técnicas de manejo y uso sostenible del mismo, apropiadas a su estado y condición, así como, le permiten ser fuente de servicios ambientales y en el Mapa Nacional a escala 1:25 000, basado en la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, permitió conocer los factores limitantes para la producción agropecuaria y forestal (Sánchez , 2014) lo cual se muestra en la **figura 1**.

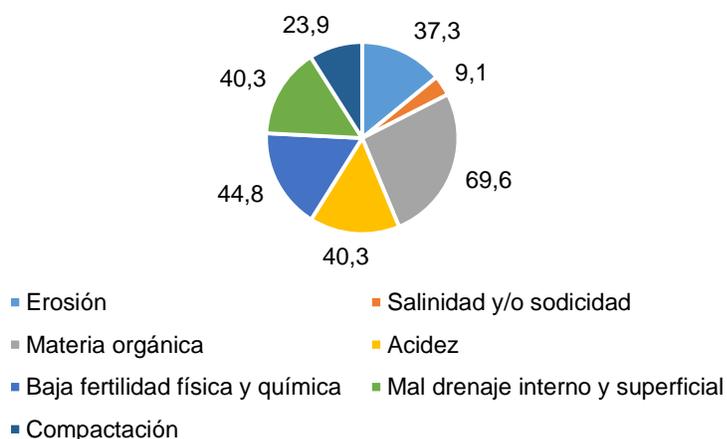


Figura 1. Porcentaje que representan los indicadores de degradación en Cuba

1.2. Métodos para el diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola

Como se ha referido con anterioridad, la pérdida de suelo, fundamentalmente por erosión en un lugar y momento determinado, depende de muchos factores, se han empleado diferentes métodos para determinar esta pérdida, entre estos

- **Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo** (USLE: Universal Soil Loss Equation), en esta se han sido combinado diferentes factores, en una sencilla expresión matemática, la cual se utiliza actualmente a nivel mundial para la

elaboración de mapas de erosionabilidad. Se calcula según la ecuación siguiente (Wischmeier y Smith, 1978):

$$A = K.R.L.S.C.P$$

Donde:

A: pérdida de suelo (Tm/Halaño); K: erosionabilidad del suelo; R: erosividad de la lluvia; L: longitud de la pendiente; S: ángulo de pendiente; C: cultivo y ordenación; P: prácticas de conservación.

La USLE, modelo desarrollado para predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos, orienta la selección de prácticas de conservación para localidades específicas, estima la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados y determina el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo (Vargas, 2010).

Este modelo empírico USLE permite crear una base de datos de 10000 combinaciones de parcelas de escurrimiento-año, bajo lluvia natural (García, Terra, Sawchik y Pérez, 2017), además es el más difundido universalmente (Gvozdenovich, Pérez, Novelli, y Barbagelata, 2017) y permite la aplicación de adaptaciones metodológicas para el cálculo de sus factores, aun cuando no se cuente con todos los datos requeridos (Moreno, et al., 2017).

• **Método sencillo para la cuantificación de pérdidas de suelo.** La cuantificación de los resultados se hace a través de la siguiente fórmula:

$$P = H * A * DAP$$

Donde:

P= pérdida de suelo; H= altura de la lámina pérdida; A= área medida y DAP= densidad aparente

Para complementar el análisis de los resultados, se debe tomar en cuenta los registros de las precipitaciones que se dieron en el período que duró la investigación y correlacionarla con la cantidad de suelo perdido.

Ventajas del método. 1) Es un método sencillo y fácil de instalar; 2) La toma de datos es según la disponibilidad de tiempo del investigador; 3) La toma de datos puede ser realizada por el mismo productor; 4) Las varillas pueden instalarse en

cualquier pendiente y terreno; 5) Los materiales son reutilizables y 6) El método puede combinarse con otros métodos con el mismo propósito.

El método por la sencillez y costos módicos en la instalación, ha sido utilizado en diferentes países de Centroamérica (El Salvador, Costa Rica, y Honduras). Sin embargo, hasta el momento no se han encontrado documentos sobre estudios concretos para valorar su efectividad en estos países, sin embargo, en reportes de estudios realizados en Nicaragua por Somarriba, Obando y Alonso (2005) se encontró que este investigador cuantificó la pérdida de suelo en ocho parcelas con pendientes diferentes y cultivos diversos, cuyos resultados se muestran a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Pérdida de suelo en diferentes pendientes y cultivos

Parcela #	Cultivo	Pendiente %	Lámina perdida (mm)	Densidad aparente (dap)	Suelo perdido T/ha/año
1	Sin cobertura	10	14.5	1.11	160.95
2	Maíz	15	11.5	1.18	135.70
3	Sin cobertura	5	9.4	1.10	103.40
4	Yuca	10	8.4	1.04	87.36
5	Maíz	7	7.0	0.99	69.30
6	Plátano	2	6.7	1.07	71.69
7	Maíz	4	6.6	1.06	69.96
8	Frutales	5	0	-	0

Fuente: Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica, Managua, Nicaragua (2005)

- **Valoración del Daño por Erosión Actual (VADEA)**, metodología aplicable para monitorear y estimar la pérdida de suelo por la erosión hídrica actual; se basa en tres consideraciones principales (Herweg, 1996): (a) La erosión y las pérdidas de suelo no se distribuyen regularmente en el año, sino que la gran parte ocurre en épocas de lluvias fuertes (tormentas, aguaceros) y en épocas de poca protección de la tierra por cultivos u otras plantas (después de la preparación de la tierra para

la siembra, después de la cosecha, después de incendios forestales); (b) La erosión no se distribuye regularmente en un área, sino que se concentra en ciertas partes de la misma. Se ha demostrado que la erosión lineal puede exceder la erosión laminar muy significativamente y (c) Las prácticas para estimar causas y planificar la conservación de suelo y agua (CSA), no pueden controlar eficientemente la erosión si no previenen daños visibles.

Partiendo de estas suposiciones, los objetivos que se persiguen con VADEA son: evaluar el daño visible (surcos, cárcavas y acumulaciones) después de eventos críticos (lluvias intensas) en las épocas críticas (suelo sin o con poca cobertura); elaborar mapas a gran escala de los rasgos de erosión, observar las áreas arriba y abajo del área dañada y analizar las causas de la erosión con ayuda de formatos. El monitoreo puede realizarse a nivel de finca (parcelas), ladera (topo-secuencia de erosión) y/o microcuenca, obteniéndose una base para diseñar prácticas de CSA con mapas y consideraciones acerca de causas de la erosión y así, desarrollar un plan de conservación de suelos y agua; además, no cuantifica la pérdida total del suelo, sino da ideas sobre la magnitud de este. La metodología fue desarrollada para complementar parcelas de escurrimiento (datos puntuales) y estaciones de aforo (nivel de cuenca) y para cerrar la brecha metodológica entre ambos instrumentos.

Esta metodología fue desarrollada y validada en condiciones templadas y subtropicales de Europa (Alemania, Grecia, Italia y Suiza) por el Grupo de Investigación de Erosión de Suelo de la Universidad de Basilea (Suiza) y adaptada a condiciones tropicales en Etiopía.

Ventajas de VADEA. (a) Es relativamente fácil de aplicar después de una preparación breve del equipo de campo; (b) No se necesita equipos ni materiales costosos y se puede realizar espontáneamente; (c) Es un instrumento con el que se puede estimar la situación actual (resultados inmediatos) y también monitorear un área a largo plazo, para evaluar la eficacia de prácticas de CS; (d) Se consigue rápidamente una vista general sobre los rasgos de erosión visibles de manera semi cuantitativa y cualitativa; (e) Estimula la reflexión obligando al observador a mirar más allá del área dañada, lo que significa forzarle a obtener un punto de

vista más holístico; (f) La metodología implica reconocer las causas directas de la erosión y encaminar los primeros pasos para la estimación de la erosión y (g) Indica las causas indirectas de la erosión en su contexto social, cultural, económico y político.

Es un instrumento complementario a otros métodos más sofisticados (parcelas de escurrimiento, estaciones de indicadores de ríos); así como, puede aplicarse como herramienta útil, tanto de diagnóstico como de planificación, cuando el interés es más bien práctico y es un método que estimula la autocapacitación y que obliga a los aplicadores ir al campo y observar la realidad en las fincas.

- **Limitaciones.** -No permite la cuantificación exacta de la pérdida de suelo anual.
- El margen de error varía entre 15% y 30% dependiendo de la experiencia del equipo de campo;
- La exactitud disminuye cuando la cobertura vegetal es más densa, cuando los números de los surcos aumentan y cuando los rasgos son muy complejos;
- Toma en cuenta la pérdida de suelo, pero no la escorrentía y es selectivo porque trata solamente algunos efectos de la erosión y - La metodología evalúa solamente el daño actual y no es un método para estimar la situación de la degradación de una zona.

Como se aprecia, todos los métodos antes mencionados, tienen en común, que buscan la cuantificación de las pérdidas de suelos a partir de mediciones de campo, factores, el empleo de datos cuantitativos y cualitativos, empíricos, etc, y de acuerdo a estos estudios consultados con anterioridad, pudo apreciarse que la Ecuación USLE, es la base de la generalidad de los modelos de predicción, existiendo distintas adaptaciones a condiciones específicas y algunas modificaciones, respecto a la forma en la que se determinan índices asociados, sin embargo, siempre se cumple las condiciones establecidas por ella, teniendo en cuenta: fuerzas erosivas, asociadas a la precipitación, y la erodabilidad, así como, se incluyen propiedades del suelo, condiciones de pendiente, y un factor importante asociado al manejo, que es fundamental para el enfoque de este estudio, para poder recomendar acciones y alternativas para enfrentar la erosión

1.3. Acciones y alternativas de mejoras que mitiguen procesos de degradación, fundamentalmente, la erosión de suelos

El impacto ecológico y socioeconómico producido por la agricultura convencional (agricultura de alto costo energético), recién está llevando a comprender sus grandes limitaciones para resolver el problema de la seguridad alimentaria, especialmente en los países en vías de desarrollo. Su aplicación, no sólo ha provocado la degradación de los recursos naturales (agua, suelo, y vegetación), sino, también es responsable de la pérdida paulatina del conocimiento o saber campesino en el manejo de los diversos sistemas de producción en muchos países. (Alfonso y Monedero, 2004 y Sánchez, 2014).

Investigadores como Paneque, Haroldo y Elidí (2002) refieren que los diversos sectores sociales involucrados en el manejo del suelo, deben participar en la definición y aplicación de las políticas que se establezcan con relación a este recurso, para así, lograr una gestión que sea legítima, transparente y socialmente consensuada. Para alcanzar estos fines, es relevante que se definan y ejecuten planes a corto, mediano y largo plazo, dependiendo del estado y condición del grado de degradación existente en el lugar, expresados en manifestaciones tales como:

a) Disminución de la resistencia y resiliencia de los ecosistemas, donde la estabilidad de los ecosistemas depende de dos componentes principales: (1) la resistencia, (capacidad de los ecosistemas de hacer frente a una perturbación sin cambiar su estructura y dinámica, dependiendo del tamaño de los almacenes de materia y energía); (2) la resiliencia (o elasticidad), que la capacidad de regresar al estado anterior a la perturbación, lo cual está determinado por sus tasas metabólicas.

b) La disminución de la capacidad de adaptación a cambios globales, dado a que la estructura y funcionamiento de los ecosistemas se deterioran por el proceso de degradación, su capacidad de resistir o hacer frente a perturbaciones como huracanes, eventos extremos (inundaciones, sequías), migraciones, aumento de capacidad de carga, cambio climático entre otros, se verá muy reducida.

c) El debilitamiento de la capacidad de respuesta y adaptación de la

población afectada a los cambios ambientales, climáticos y económicos ocasionados por fuerzas externas que afectan el mejoramiento de sus condiciones de vida.

1.3.1. Medidas para el enfrentamiento a la erosión

Según Alfonso y Monedero (2004), desde épocas remotas, se han desarrollado prácticas para controlar la erosión hídrica y conservar el suelo; estas prácticas se agrupan en dos clases: agronómicas y mecánicas, como se detalla a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Agrupamiento de las prácticas para enfrentar la erosión

Tipo de prácticas	Significado	Se agrupan en ella:
Agronómicas culturales	Mediante el uso adecuado de la vegetación y del suelo, se puede controlar de manera sencilla, eficiente y a bajo costo la erosión del suelo.	Uso de rastrojos de cultivos y restos de cosechas; cultivos de cobertura y abonos verdes; rotación y asociaciones de cultivos; cultivo en contorno; cultivos en bandas; barreras vivas y agroforestería.
Mecánicas estructurales	Son construidas mediante remoción del suelo, y en algunos casos, con empleo de otros materiales. Estas prácticas son necesarias para el control inmediato de los procesos erosivos, pero deben complementarse con las prácticas agronómicas, para asegurar una eficiente y duradera conservación del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> - Zanjas de infiltración. - Canales de desviación. - Andenes. - Terrazas de formación lenta. - Diques para el control de cárcavas. - Defensas ribereñas (fajas hidrorreguladoras en espejos de agua).

Como aspectos esenciales en los programas de control de la erosión están: predicción de los lugares y las épocas en que puede presentarse excesiva erosión, y de este modo, establecer medidas encaminadas a aumentar la resistencia o disminuir las fuerzas que intervienen en la erosión, denominadas prácticas de conservación de suelos, estas pueden dividirse según González (2003) como se muestran en el Cuadro 4 , según se trate de modificaciones de los sistemas de cultivos, se utilice la propia vegetación o se recurra a estructuras artificiales construidas, mediante la remoción disposición adecuada de porciones de suelo .

Cuadro 4. Agrupamiento de las prácticas de Conservación de suelos

Tipo de prácticas	Consisten en:	Incluyen:
Culturales y agronómicas	Modificaciones de los sistemas de cultivos y/o se utiliza la propia vegetación	<ul style="list-style-type: none">• Distribución adecuada de los cultivos.• Siembra en contorno.• Siembra en fajas.• Rotaciones de cultivo.• Plantas de cobertura y abonos verdes.• Barreras vivas.
Mecánicas	Se recurre a estructuras artificiales construidas, mediante la remoción disposición adecuada de porciones de suelo.	<ul style="list-style-type: none">• Canales de desviación• Terrazas de absorción y de desagüe• Acequias de laderas• Bancales• Terrazas individuales• Represas para el control de cárcavas

Medidas para el control y prevención de la erosión eólica. Según Huerta et al. (2018), la forma más eficaz de controlarla, es con la introducción de sistemas de ordenación de los agroecosistemas, de modo que reúnan las siguientes condiciones: (a) No se elimine la cubierta vegetal en grandes extensiones de la superficie agrícola; (b) Reducir la longitud de los espacios libres y de esa manera, se disminuye el impulso del viento; (c) Aumentar la coherencia del suelo o protegerlo con una coraza de manera que impidan el levantamiento de las partículas por el viento; (d) Reducir la velocidad del viento cerca del suelo y desviar su dirección y (e) Controlar la fuente del material de que están hechas las dunas.

En lo que respecta a las formas de evitar la erosión debida al viento en áreas destinadas a la ganadería, las más eficaces son las siguientes: (a) Ubicar los puntos donde se abreva el ganado en suelos resistentes a la erosión; (b) Proteger con cortinas cortavientos, las áreas destinadas a cultivos para la alimentación del ganado y las zonas más explotadas; (c) Mantener un buen equilibrio entre plantas herbáceas y leñosas y (d) Distribuir arbustos y árboles en las tierras de pastoreo para reducir la velocidad del viento.

1.3.2. Otras medidas para el control de la degradación de suelo por procesos erosivos

- **Empleo de bioindicadores:** las costras biológicas de suelo (CBS), son catalogados como bioindicador esencial de procesos de desertificación, se forman a partir de íntima asociación entre partículas del suelo y una compleja comunidad de microorganismos (bacterias, algas, hongos, musgos y líquenes que viven sobre la superficie o en los primeros milímetros del suelo) (Belnap, 2006 y Román, 2014).

Eldridge (2000); Belnap et al. (2003); Castillo-Monroy y Maestre (2011), hacen referencias a que el conjunto de especies vegetales no vasculares (líquenes, musgos, hepáticas) y microorganismos unicelulares o de organización simple (cianobacterias libres, hongos y algas) que conforman las CBS, habitan en el suelo, constituyen una fuerte barrera para enfrentar la pérdida de suelo, debido a la estrecha relación que mantienen con la capa más superficial del mismo.

Bowker, Belnap, Davidson y Goldstein (2006), han reportado que la presencia de CBS en la superficie de los suelos degradados, puede ser una herramienta efectiva para evitar la degradación y el avance de la desertificación, por lo que mantenerla, protegerla y recuperarla en aquellos lugares en los que se haya perdido, puede jugar un papel importante en la restauración de los ecosistemas áridos y semiáridos degradados (Bowker, 2006 y Repetur, 2017).

En otros estudios, las biocostras, como también se las denominan, tienen una distribución global muy amplia, se encuentran en casi todos los tipos de suelos donde la cobertura vegetal es baja y la luz llega a la superficie del suelo y debido a que poseen bajos requerimientos de humedad y una alta tolerancia a las temperaturas extremas, a menudo cubren superficies de ambientes extremos y con baja productividad (Belnap, 2003), se encuentran en regiones híper áridas, semiáridas, sub-húmedas, alpinas y regiones polares, de todo el mundo, constituyendo más del 40% de la superficie terrestre (Reynolds et al., 2007).

La importancia de estos organismos radica en de que, se vuelven metabólicamente activos cuando se humedecen, comenzando sus funciones casi instantáneamente (Belnap et al., 2001); muestran una rápida respuesta a la

humedad incidente del suelo, resultando en casi una instantánea mineralización de nutrientes como carbono y nitrógeno (Austin, et al., 2004). Y (Repetur, 2017) Existen reportes de evidencias claras sobre el aporte de estas comunidades a la fertilidad y estabilidad del suelo, donde las costras contribuyen a incrementar el reservorio de nutrientes disponibles para las plantas, entre 0,2 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N a los 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura. Al mismo tiempo, intervienen en el ciclo del Carbono (C) al fijar C atmosférico en la fotosíntesis y posteriormente liberarlo al suelo por procesos de lixiviación y descomposición (Belnap & Lange, 2003 y Bowling et al., 2011).

Otros estudios manifiestan que las CBS, protegen al suelo frente a la acción erosiva de la lluvia y el viento, al favorecer la agregación y cohesión de partículas de suelo, modular la infiltración, influir en el establecimiento de plantas vasculares al aportar, contenido nutricional y estado hídrico (Belnap & Lange, 2003); no compite con las plantas vasculares (Klopatek, 1992) y que la cubierta vegetal vascular de la planta se ve reforzada por la presencia de la CBS (Ladyman & Muldavin, 1994).

Al interactuar con otros microorganismos y microfauna del suelo, proporcionando recursos y hábitat potencial (Castillo, 2011) las CBS se consideran “ingenieras ecosistémicas” y “elemento clave” en ambientes áridos y semiáridos, pudiendo ser asumidas como bioindicadores de procesos de degradación de suelos, entre ellos, la erosión (Concostrina, Martínez, Huber y Escudero, 2013).

1.3.3. Estructura de Programa de acciones y alternativas frente a la erosión

De modo general, la estructura de un programa de este tipo, para el control de la erosión en suelos de uso agrícola, debe considerar primeramente que los procesos erosivos no son de carácter local, sino más bien regional, de acuerdo a los principios que rigen las cuencas hidrográficas (Brooks et al., 1991), por lo que la planificación que se establezca para el manejo y conservación de suelo, para reducir pérdidas por erosión, deben tratar problemas de suelo y agua, para controlar el escurrimiento superficial y reducir, la erosión hídrica a nivel local (Oñate y Valdivieso 2004).

En todos los programas realizados para este fin, revisados en la literatura

consultada, se pudo corroborar que existe un denominador común: el uso intensivo de la tierra y el problema de la erosión; así como, la producción de las cosechas en una misma parcela bajo riego, se realiza en forma sucesiva; sumado a los efectos del monocultivo, el uso del rastrojo y residuos para la alimentación animal; lo que provoca una alta extracción de nutrientes y pérdida de materia orgánica, sin una adecuada reposición. Por otra parte, la falta de cubrimiento en ciertos momentos, debido a la eliminación de los residuos, promueve la erosión y la pérdida de agua por el escurrimiento libre, facilitando la compactación superficial y la no infiltración, problemas que se observan con más intensidad en las áreas de secano.

Por todo lo antes expuesto, se puede afirmar que un programa de este tipo, debe enfocarse de forma prioritaria a dar solución a problemáticas como las siguientes: (a) Conservación, reposición de la materia orgánica y nutrientes del suelo y aumento de la productividad; (b) Prevención de los daños por erosión hídrica, atendiendo el mejoramiento y conservación de la estructura del suelo, a la cobertura vegetal, nivelación y evacuación del exceso de agua considerando el carácter estacional y torrencial de las precipitaciones y (c) Conservación del agua. También, deben tenerse en cuenta las modalidades generales en el uso de la tierra: cultivos a establecer, períodos de siembra y cosecha, maquinaria e implementos agrícolas a utilizar (fundamentalmente para la preparación de suelos), selección de prácticas agrícolas y su ordenamiento para el manejo del suelo y del cultivo, entre otras. Por su parte, las medidas de manejo seleccionadas, deben integrarse con otras más afines para programas zonales: control de incendios; protección de cauces, taludes y desagües contra la erosión; lucha contra plagas; defensas ribereñas; embalses; emparejamiento de tierras y otras.

Por último, conviene recordar que cualquier cambio o innovación en métodos tradicionales, tiene sus riesgos, y la incorporación de nuevas técnicas exige poseer medios adecuados y proceder sobre bases firmes, para alcanzar los efectos deseados. Es por ello, que a través de alianzas estratégicas entre productores/ centros de gestión del conocimiento y de investigación, se deberá

fomentar y/o, organizar la experimentación y red de ensayos, conformar y ampliar guías técnicas, desarrollar una suficiente extensión agrícola, e implementar créditos especiales de fomento, que faciliten el acceso a usos y prácticas de manejo (drenaje, infraestructura de riego, nivelación de campos, viales y vías de acceso rurales), sin las cuales, no se puede llegar a una racionalización del empleo del agua y del suelo.

Según Sánchez (2005), un enfoque más integrado para estructurar estos programas, implica considerar: (1) Las interacciones complejas que requieren integrar objetivos institucionales y productivos, para lograr estrategias balanceadas; (2) Involucrar a usuarios y técnicas de consenso, en el proceso de toma de decisiones, para obtener un plan de manejo técnico y socialmente justificado, reflejo del balance negociado de intereses comunes; (3) Necesidad entender los procesos desde la información generada de estudios científicos que afectan al sistema agrícola en cuestión, con impacto en las cadenas productivas y en las condiciones económicas y de salud a nivel local; (4) Manejar el concepto de unidad básica de planeación, cuyo objetivo sea el diseño y uso de métodos efectivos de manejo de los recursos que intervienen en los procesos e involucran a los usuarios con beneficios y costos compartidos; (5) Lograr un marco adecuado de acuerdos entre las instituciones que participan con objetivos comunes, para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales y de la toma de decisiones que descansan más en intereses comunes que en aspectos legales y (6) Contar con un procedimiento de monitoreo para evaluar los impacto del manejo programado.

Estos aspectos, presuponen una jerarquización y planeación de acciones en función de estudios realizados e implican, además, considerar condiciones socio-ambientales del sistema agrícola e incluye, un proceso de aprendizaje sobre acciones que promueven la participación local. Lo anterior se puede evidenciar en el Programa Estatal de Microcuencas, desarrollado en San Luis Potosí, México (Loredo, Beltrán y Moreno, 2007) el que cuenta con acciones concertadas bajo un esquema integral enmarcadas en un Plan Rector, que considera la microcuenca como unidad básica de planificación para los servicios integrados en el manejo del

suelo y el agua, con énfasis en acciones tendientes al ordenamiento territorial (figura 2)



Figura 2. Acciones tendientes al manejo integral de microcuencas

Capítulo 2. Materiales y métodos

Con enfoque cuantitativo y cualitativo, se realizó una investigación de carácter Descriptivo /Explicativo y No experimental, en la CPA “Mártires de Barbados”, perteneciente al municipio de Cienfuegos, ubicada en el Consejo Popular Rancho Luna, durante el período de abril 2018 a abril 2020. Dicha investigación se desarrolló en tres fases de trabajo; (1) De campo; (2) De laboratorio y (3) Análisis de datos y procesamiento estadístico. También se emplearon; métodos teóricos (Histórico/ Lógico, Inductivo/ Deductivo, Analítico/ Sintético) y prácticos entre los que destacan; encuestas, entrevistas, observación directa, trabajo en grupo y mediciones de campo.

2.1. Diseño de investigación

2.1.1. Diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”

Para llevar a cabo el diagnóstico de la situación actual de las afectaciones de los procesos erosivo en los suelos agrícolas de la CPA objeto de estudio se procedió a realizar los pasos siguientes:

Paso 1. Revisión documental: se revisaron informes técnicos, estudios de suelos realizados en la CPA, así como informes de producción, resultados económicos y reportes de actividades o atenciones culturales realizadas a los cultivos durante un periodo comprendido entre los años 2013 – 2018, con el objetivo de relacionar los procesos erosivos, su influencia en los resultados agrícolas, teniendo en consideración las prácticas agrícolas realizadas por cultivo y sus gastos. Otros documentos que fueron revisados son: la base de datos climáticos del periodo 2013 – 2018 (valores medios anuales de las variables climáticas como, precipitaciones (mm/h), vientos (m/s), radiación solar y Humedad Relativa en %) la cual se muestra en el Anexo 1, con el fin de relacionar el comportamiento del clima, los resultados agrícolas obtenidos y la presencia de procesos erosivos, en los períodos donde se apreció comportamiento extremo de estas variables antes mencionadas.

También se tomaron los datos del pluviómetro instalado en la cooperativa (período 2016-2019) lo cual se muestra en el Anexo 2.

Paso 2. Recorrido por áreas agrícolas: se llevó a cabo con el fin de reconocer e identificar las áreas afectadas por procesos erosivos, así como, las que muestran mayor cobertura de presencia de costras biológicas de suelo. A partir de lo cual se determinó el área de estudio, la cantidad de transectos y el método a aplicar para medir pérdidas de suelo en la presente investigación.

Paso 3. Intercambio con productores: para tal fin se desarrolló un taller para sensibilizar a los productores con el tema de investigación, para lo cual se logró la participación de 15 productores y cinco (5) decisores. En el anexo 3, aparece la agenda de trabajo que se planificó para su desarrollo.

Paso 4. Organización de la información captada y procesamiento de datos: la información captada con el desarrollo de los pasos anteriores fue recopilada en hojas de trabajo previamente diseñadas para tal fin, los datos se organizaron en hojas Excel como bases de datos para su análisis y procesamiento matemático y estadístico con el empleo del programa automatizado SPSS v.15.

Paso 5. Análisis de la incidencia de la erosión en los resultados productivos de la CPA. En este paso se partió del análisis del conocimiento existente entre los productores y decisores de la CPA, en cuanto a:

- Relación pérdidas de suelos y su incidencia en los resultados productivos alcanzados en la misma en los últimos cinco (5) años.
- Manejo del proceso erosivo para mitigar su impacto en la gestión productiva.

Para lo cual, se aplicó una encuesta a los productores que trabajan de forma directa con los cultivos Anexo 4 y una entrevista, a los integrantes de la Junta Directiva de la cooperativa, funcionarios de la ANAP en el municipio y de la Delegación Municipal de la Agricultura, para el caso de estos últimos, se entrevistaron los que mayor vínculo tienen con la gestión productiva de la unidad productiva, cuya guía que aparece en el anexo 5.

Tanto para la encuesta como para la entrevista, para la selección de la muestra poblacional se empleó como criterios los siguientes:

- Años de experiencia en la actividad agrícola
- Disponibilidad para participar
- Nivel educacional
- Categoría ocupacional
- Vinculación directa con la gestión productiva de la CPA

De lo anterior se obtuvo una muestra compuesta de:

- 15 productores para la encuesta
- 15 funcionarios y decisores para la entrevista

Con esta población N de 30 personas se determinó el grupo de expertos que se encargó de efectuar las validaciones durante la investigación, para lo cual se les aplicó un Test de Conocimientos (Anexo 6) que contó con ocho (8) ITEMS a evaluar y una escala evaluativa con valores del 1 al 5, donde 1 se corresponde con la no existencia de conocimientos y 5 con conocimientos muy altos, a través de lo cual estas personas calificaron sus competencias acerca de los temas evaluados.

Para determinar el tamaño de la muestra que debía conformar el grupo de expertos, se utilizó el Coeficiente Kendall (W), que es un coeficiente de correlación por rangos entre dos ordenaciones de una distribución normal bivalente, el cual a través de métodos matemático y estadísticos, permitió validar la fiabilidad del criterio de los encuestados; así como, la concordancia (Cc) entre ellos, a través de la expresión matemática siguiente:

Para el cálculo del Coeficiente Kendall (W), se recopiló la información ponderada de cada uno de los encuestados (30 en total) y se unificó el criterio de varios de estos con conocimiento de la temática, de manera que cada uno tuvo la oportunidad de calificar su conocimiento según la escala evaluativa aplicada para el test y se llevó a una hoja excell en forma de tabla la calificación dada a cada ITEMS por parte de los encuestados. A continuación, se muestra el procedimiento matemático del método aplicado, que se basa en la suma de la puntuación para cada ITEMS evaluado por fila, con el algoritmo siguiente:

Cálculo del coeficiente (T)

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_j}{k}$$

Se realizó el análisis de los ITEMS, y aquellos cuyo valor fue menor que el coeficiente (T), se tomaron en consideración, como parte de las propuestas de mejoras y alternativas a desarrollar en la CPA para mitigar el impacto de la erosión.

Seguidamente se calculó el valor Δ , por fila y uno por uno, con el empleo del algoritmo siguiente:

$$\Delta = \sum_{i=1}^m a - T$$

Luego se calculó Δ^2 , lo que permitió finalmente hallar el coeficiente de Kendall (W) y determinar la concordancia de los criterios según la expresión matemática:

$$C_c = (1 - V_n / V_t)$$

Donde:

Cc- Coeficiente de concordancia.

Vn- Cantidad de encuestados en contra del criterio ponderado.

Vt- Cantidad total de encuestados.

Y se estableció como condiciones:

Si: $C_c \geq 60\%$, se acepta la concordancia

$C_c < 60\%$, se elimina el criterio por baja concordancia.

Todo este procedimiento se realizó de forma computarizada con el empleo del Programa SPSS v.15.

2.1.2. Identificación de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”

Seguidamente después de identificar en el análisis anterior, el comportamiento del proceso de erosión en la superficie agrícola de la CPA “Mártires de Barbados”, a partir del diagnóstico, se procedió a la determinación de las pérdidas de suelos por

erosión existente en la máquina de riego seleccionada como caso de estudio, para lo cual se siguió como procedimiento lo que se expone a continuación.

-Método utilizado para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica

Se llevó a cabo la evaluación empírica de la ocurrencia de los procesos de erosión, siguiendo como procedimiento el empleo de modelos cualitativos y cuantitativos y que tienen una forma de evaluación directa o indirecta (Alatorre y Bequería, 2009):

a) **Métodos de evaluación directa:** en los transectos ubicados en la máquina de riego seleccionada, se construyeron 27 micro parcelas para observar el comportamiento de la escorrentía y observar las pérdidas de suelos por erosión, por lo que se midieron variables como: sedimentos en drenaje, compactación de suelos (pie de arado) y velocidad de infiltración, a través de Herramientas Metodológicas contenidas del Manual de Procedimientos para la implementación del Manejo Sostenible de Tierras (Urquiza et al., 2011).

- Medición de sedimento en los drenajes (drenaje en surco): se empleó para determinar pérdidas de suelo (anexo 7) A modo de corroborar los valores obtenidos, se midió el espesor de los horizontes en los primeros 30 cm de profundidad y se observó, además: color y textura, por el Método del anillo.

- Medición de la velocidad de infiltración: permitió medir velocidad y cantidad de agua que se infiltra a través de la superficie o dentro del perfil el suelo (Anexo 8).

Seguidamente se procedió a seleccionar las variables que se asocian a:

- **Fuerzas activas** (asociadas a la erosividad del suelo): se estudió el comportamiento de la intensidad, duración, y tamaño de gotas de lluvia. Los datos resultantes del análisis de la metodología de curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia, se correlacionaron estadísticamente, con las mediciones de pérdida de suelo realizadas en la fase de campo.

- **Fuerzas Resistentes** (asociadas a la erodabilidad). Se evaluó la disponibilidad de material erosionable a través del comportamiento de algunas propiedades físicas importantes como: textura, estructura superficial y estabilidad estructural, en los cinco (5) primeros centímetros de profundidad. Para conocer la presencia de flujo superficial, se evaluaron propiedades asociadas a la compactación superficial.

• **Factores Asociados** (a la erosión hídrica superficial). Se evaluaron:

-Pendiente: se midió el grado de inclinación y la longitud de la misma (m).

-Sistema de manejo: Se midieron en cada micro parcela 10 plantas en zigzag y al azar, también se les realizó el conteo de cantidad de raíces en los primeros cinco (5) a quince (15) cm superficiales, en calas con dimensiones de 40x40x40 cm y se compararon los resultados según tipos de uso y manejo de suelo de cada cultivo.

- Cobertura vegetal (en términos de porcentaje): se midió en metros, la superficie que cubre la cobertura del follaje del cultivo establecido y la altura del tallo, considerando etapa fenológica y grado de desarrollo con lo que se estimó el índice de cobertura (IC) en términos de porcentaje. Como parte de esta cobertura superficial, también se consideró la presencia de Costras Biológicas de Suelos (CBS), por el método de Muscha y Hild (2006), aplicando dos técnicas: (a) Transecta de 20 m, que proporcionó la representación más equitativa de la abundancia absoluta de corteza biológica del suelo y de cubierta vegetal en el punto de muestreo y (b) Cuadrata de 0.25 m², que se aplicó en la superficie de la costra, para identificar morfoespecies predominantes.

b) **Métodos de evaluación indirecta:** son los que están asociados a los métodos estadísticos (Honorato et al., 2001).

Todo lo anterior, permitió contar con los datos requeridos para el empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) de Wischmeier & Smith, propuesta en 1978 (Echeverría et al., 2006). En la Figura 3 se muestra el diagrama de la metodología seguida para calcular los factores presentes en dicha ecuación.

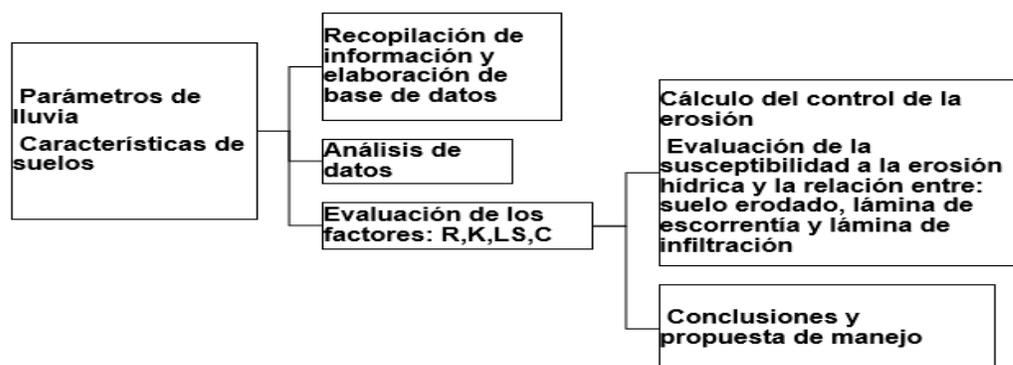


Figura 3. Metodología para calcular los factores de la ecuación USLE para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica

Fuente: elaboración propia

Con el empleo de Herramientas del Manual de Procedimientos para la implementación del Manejo Sostenible de Tierras (MST), (Urquiza, 2011), se evaluó:

-Estimación del Índice de Erodabilidad (K): Se aplicó el método de Wischmeier y Smith (1978) y de Lobo y Gabriels (2005), para estimar la susceptibilidad del suelo.

-Estimación de la asociación cultivos establecidos/ presencia de costras biológicas de suelo (CBS): se realizó en cada micro parcela, el cálculo del factor del cultivo (C), utilizándose los índices propuestos por García (2004).

También, se evaluó la posible influencia de las prácticas de manejo de suelo aplicadas por cultivos en la estabilidad del suelo, según método de Lobo y Gabriels (2005), considerando las condiciones siguientes:

- Comportamiento con las prácticas aplicadas de forma sistemática en cultivos de ciclo corto “maíz” (*Zea maíz*) y se asumió como factor de prácticas (P) el valor 0,5 (ante la no aplicación prácticas de conservación de suelos).
- Comportamiento con las prácticas aplicadas en cultivos de ciclo largo, se adoptó por igual causa, un factor de prácticas (P) igual a 0,7.
- Comportamiento con las prácticas aplicadas con presencia de costras, observándose en el horizonte A, espesor (cm) y estructura.

2.1.3. Propuesta de programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos de la cooperativa objeto de estudio

Se aprovecharon para su conformación, datos aportados por los análisis anteriores y las medidas para manejo integral de la erosión, consultada en la bibliografía. Se validó de forma teórica esta conformación, con criterios de expertos según su: **pertinencia, coherencia y factibilidad** (Martínez et al., 2008), según Anexo 11.

Los datos aportados por este análisis, se procesaron estadísticamente (análisis de frecuencia) y finalmente, se conformó el programa.

Capítulo 3. Resultados y discusión

La investigación No experimental de tipo Explicativo, fue desarrollada durante el período de abril 2018 a abril 2020, en la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) “Mártires de Barbados,” ubicada en el Consejo Popular Rancho Luna, perteneciente al municipio de Cienfuegos, en la que se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

3.1.1. Resultados del diagnóstico de los factores que condicionan pérdidas en suelos de uso agrícola de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”

El diagnóstico desarrollado, permitió conocer la situación actual de las afectaciones de los procesos erosivos que muestran los suelos de uso agrícola en la CPA objeto de estudio, a partir de la información captada en los pasos siguientes:

Paso 1. Resultados de la revisión documental

La revisión de informes técnicos y de estudios de suelos realizados en la CPA, permitió conocer aspectos que posibilitaron la caracterización de los factores físicos-geográficos existentes en el lugar, entre los que destacan:

- **Suelo:** según el mapa básico elaborado por el Instituto de Suelos (1989) con criterios de la Segunda Clasificación Genética de Suelos, a escala 1: 25 000, en la cooperativa existen fundamentalmente, los tipos de suelos: Aluvial (XXVI); Fersialítico Pardo Rojizo (VIII); Rendzina Roja (XIII) y Ferralítico Rojo (II), en orden de predominancia (Anexo 9).

Por encontrarse los del tipo Aluvial, en el mayor orden de predominancia, es que se describen algunas de sus principales características: suelo de color pardo oscuro a pardo amarillento en profundidad, muestran textura ligera llegando a arenosa, se desarrollan en pendiente con rangos de calificación llana a casi llana (1- 3%).

Estos suelos requieren de aportes de residuos orgánicos, fertilización química y de agua para la obtención de buenos resultados agrícolas. Por su profundidad (mayor de 45 cm), su textura y buen drenaje interno, son evaluados en categorías agroproductivas I y II, por lo que se consideran aptos para la generalidad de los

cultivos agrícolas. En la foto 1, se muestra la calicata efectuada en el área de estudio.



Foto 1. Calicata realizada en la máquina de riego No 1 de la CPA “Mártires de Barbados” ubicada en el Consejo Popular Rancho Luna, perteneciente al municipio de Cienfuegos.

Fecha: junio/2019 Autor: Vanie López la Rosa

Entre las características que, en este tipo de suelo, aportan elementos que justifican la presencia de procesos erosivos y su vulnerabilidad ante dicho proceso, destacan:

- Déficit o bajo contenido de materia orgánica (aportado por estudios de suelos precedentes, y que no han sido actualizados).

Se constató que este déficit se ha acentuado más, debido a que, durante muchos años, los suelos de esta cooperativa han sido sometidos al cultivo intensivo, sin que se realicen aportaciones de enmiendas orgánicas o el beneficio de técnicas de cultivo que tiendan a mantener o elevar este índice en el suelo, como es el caso de la rotación de cultivos, incorporación de abonos verdes, medidas antierosivas, etc. Similares resultados reportan Navarro (1999); Gálvez et al. (2002 y 2003) y Otero et al. (2003), en los suelos de la cooperativa “Máximo Lugo” en San Juan y Martínez, Pinar del Río, Cuba, los cuales al igual que los de la CPA objeto de estudio, se utilizan intensivamente sin aplicaciones sistemáticos de enmiendas orgánicas.

Por tal motivo, se sugiere en próximas investigaciones, profundizar en el estudio de los factores edáficos limitantes, enfatizando en los que se derivan de las propiedades del suelo que más se relacionan con la erosión y la pérdida de la

capacidad productiva de los suelos, fundamentalmente, acidez de los suelos, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, compactación superficial y subsuperficial, velocidad de infiltración y profundidad efectiva, por citar algunos, los cuales al considerárseles como principales problemas para la obtención de buenos resultados agrícolas, deberán ser ordenados según su grado de incidencia en magnitud de unidad de superficie, para el establecimiento de acciones de mejora y garantía de financiamiento en su solución.

Además, estos estudios, garantizarán a la cooperativa el establecimiento de áreas donde se logre la combinación de problemas y de modo integral, se puedan contrarrestar los efectos negativos que ocasionan los procesos de degradación de suelo, fundamentalmente, los erosivos, para de este modo, se alcance mayor impacto en lo económico, ambiental y social.

-Clima: del análisis de la base de datos climáticos del periodo 2013 – 2018, donde aparecen los valores medios anuales de variables climáticas como: precipitaciones (mm/h), vientos (m/s), radiación solar y Humedad Relativa (%) que se muestran en el Anexo 1, se obtuvo la información que se muestra en las tablas 4 y 5 a continuación:

Tabla 4. Análisis del comportamiento de variables climáticas

Valores extremos bajos							
Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual	Horas luz
2000	2	29	15	21,2	73	8,6	6,4
2000	3	30,8	16,1	22,9	69	16,4	6,5
Valores extremos altos							
Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual	Horas luz
2000	5	32,8	19,7	25,8	70	107,5	
2000	6	32,5	22	26	80	289,3	
2000	7	33,3	22	26,7	78	188,3	
2000	8	32,6	22	26,3	82	224,9	
2000	9	32,4	22,3	26,3	87	173,2	
2000	10	30,3	18,9	23,8	82	118	

Fuente: datos climáticos INSMET (2000-2013)

Tabla 5. Comportamiento de las lluvias según datos del pluviómetro

Años	Cantidad de precipitaciones (mm) en el año
2016	727,1
2017	1527,4
2018	1403,7
2019 (hasta octubre)	936,1

Fuente: Registro del Pluviómetro instalado en la CPA “Mártires de Barbados”

Como se aprecia, la lluvia es la variable que en la cooperativa ha mantenido durante el tiempo, una incidencia sostenida, ya sea por déficit hídrico por los procesos de sequía, como por la ocurrencia de tormentas locales severas, que han traído por consecuencias, procesos intensivos de erosión hídrica, afectando grandemente la producción agrícola y la pérdida de equipos, entre las que destacan las máquinas de riegos de pivote central instaladas en sus áreas.

Asociado a ello, se suma la ocurrencia de estas tormentas locales severas (TLS), también han quedado registradas en los datos pluviométricos, tanto del Instituto de Recursos Hidráulicos, como en el pluviómetro instalado en la CPA, donde la intensidad de la tormenta (mm/hrs) y cantidad de agua caída (mm/30 min), no sólo han dado lugar a la ocurrencia de la erosión hídrica, sino también, a que se produjeran afectaciones en los suelos por escorrentía.

Estos resultados coinciden con los reportes de Morgan (2005), donde se considera a la lluvia como la principal variable climática para que se produzca la erosión en los suelos y los de FAO (2017), que señalan que una tormenta intensa, no sólo representa un alto impacto potencial de erosión, sino que también genera escorrentías que dan lugar a procesos erosivos como los apreciados en la CPA.

-Uso de suelos. La revisión documental también aportó información acerca del uso actual de la superficie agrícola de la cooperativa estudiada (total 624 ha), cuyo desglose se muestra seguidamente en la figura 4.

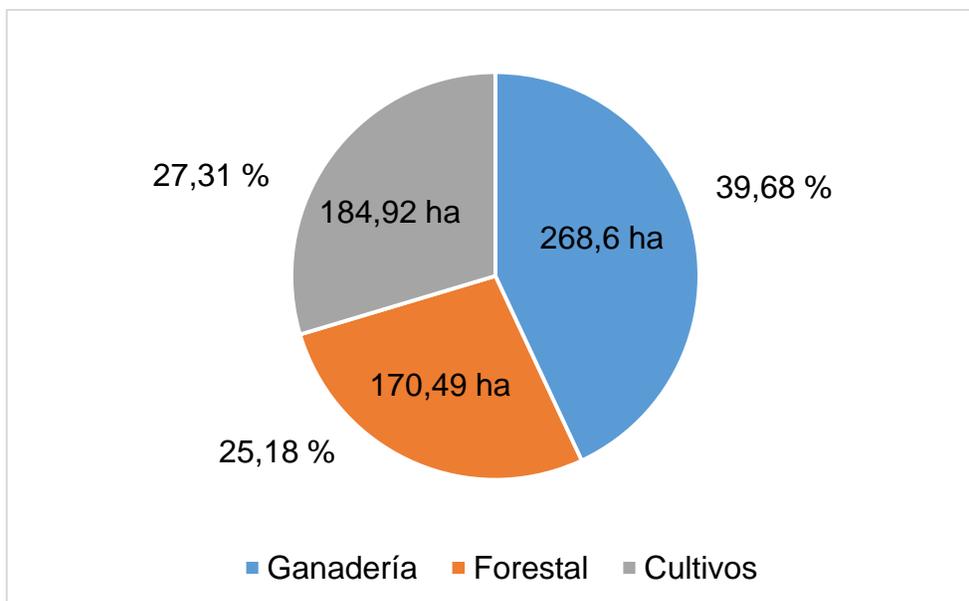


Figura 4. Desglose del uso de suelo actual de la CPA “Mártires de Barbados”

Fuente: Registro de la Tierra CPA “Mártires de Barbados”

Del desglose que se muestra en la figura anterior, se puede afirmar que existe correspondencia con el encargo social que se le ha atribuido a dicha cooperativa, amparado en Resolución No. 1901 de fecha 29 de julio de 2005, emitida por el Ministerio de la Agricultura y que recientemente, fue ampliado indistintamente, por las Resoluciones 982 (8 de agosto de 2001) y la 673 (4 de noviembre de 2013), ambas emitidas por el Ministerio de la Agricultura, de la República de Cuba.

Además, de este análisis se derivó el conocimiento acerca de que existe un predominio en uso de suelo actual en lo referente a los cultivos varios y la ganadería, sin embargo, en el intercambio con los productores, pudo conocerse que los residuales de la ganadería, no son aprovechados como aporte de abono orgánico para la mejora de estos suelos.

Del análisis de informes de producción, resultados económicos y reportes de actividades o atenciones culturales realizadas a los cultivos durante un periodo comprendido entre los años 2013 – 2018, se refuerza lo anteriormente planteado acerca del uso agrícola actual de la CPA, fundamentalmente en los cultivos varios, como se muestra en la Tabla 6 siguiente:

Tabla 6. Producción y rendimientos agrícolas de la CPA Mártires de Barbados (período 2013-2019)

área (ha)	AÑOS	VIANDAS			FRUTAS	GRANOS
	AÑOS	Plátano Burro	Plátano Vianda	Plátano Fruta	Fruta Bomba	Frijol
	2013	14,74	13,4	18,76	13,4	33,5
	2014	24,12	0,94	10,72	42,88	42,89
	2015	21,44	0	16,08	0	9,38
	2016	22,78	10,72	12,06	9,38	42,88
	2017	29,48	6,7	4,02	4,02	5,36
	2018	29,48	1,34	4,02	6,7	61,64
	2019	87,1	73,7	308,2	67	877,7
Producción (t)	AÑOS	VIANDAS			FRUTAS	GRANOS
	AÑOS	Plátano Burro	Plátano Vianda	Plátano Fruta	Fruta Bomba	Frijol
	2013	162,5	2,09	0,36	79,77	29,36
	2014	251	5,32	106	246	35,5
	2015	196,82	0	96,91	125,14	30,5
	2016	230,32	30,14	78,32	151,14	18,5
	2017	66,09	11,09	45,73	33,5	38
	2018	44,36	9,5	43,73	0	14,68
	2019	37,935	7,515	46,17	11,97	37,8
Rendimientos (t.ha)	AÑOS	VIANDAS			FRUTAS	GRANOS
	AÑOS	Plátano Burro	Plátano Vianda	Plátano Fruta	Fruta Bomba	Frijol
	2013	11,02	0,15	0,019	5,95	0,87
	2014	10,4	5,67	9,84	22,92	0,83
	2015	9,18	0	6,03	13,34	0,88
	2016	10,11	2,81	6,49	16,11	0,43
	2017	2,24	1,66	11,37	6,25	0,83
	2018	1,5	7,09	10,88	0	0,24
	2019	0,4355	0,1019	0,1498	0,1786	0,04306

Fuente: Informes de producción de la CPA (período 2013-2019)

Al relacionar el comportamiento de las variables del clima, con los resultados agrícolas obtenidos y la presencia de procesos erosivos, en los períodos donde se apreció comportamiento extremo de estas variables antes mencionadas, puede

afirmarse que se cumple lo planteado por Morgan (2005), en lo relativo a que dentro de las variables influyentes en la tasa de erosión se encuentran: el clima, la vegetación, el tipo de suelo, el uso de la tierra y la velocidad del flujo, entre otros y se corrobora su influencia negativa en los resultados agrícolas mostrados.

Paso 2. Resultados del recorrido por áreas agrícolas: a partir de este paso, se reconoció e identificó que en las máquinas de riego No. 1 y 5, se muestran las áreas agrícolas de la cooperativa con mayores afectaciones por procesos erosivos, así como, son las que muestran mayor presencia de costras biológicas de suelo, lo que corrobora lo planteado por Bowker, Belnap, Davidson y Goldstein (2006), los cuales han reportado la presencia de CBS en la superficie de los suelos degradados, considerándolas como una herramienta efectiva para evitar la degradación y el avance de la desertificación de estos suelos donde se manifiestan.

Además, se observó que, en estas máquinas, los procesos erosivos han incrementado la inestabilidad de los agregados y la propia cohesión del suelo, ya que se mantienen durante varios días sin cubierta vegetal para el desarrollo de las actividades o atenciones culturales encaminadas a la preparación de suelos y no han recibido aporte de residuales orgánicos, lo que incrementó el efecto negativo del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, disminuyendo su capacidad de infiltración y se incrementó la escorrentía, trayendo consigo la formación de surcos de erosión y en la máquina No 1, las inundaciones por el río Arimao condujeron a la formación de cárcavas de aproximadamente 0,50 m de profundidad y un ancho de 2,00 m.

Ante esta problemática, es preciso sugerir el establecimiento de prácticas conservacionistas y de rehabilitación de suelos, en estas máquinas de riego, donde se tenga como punto de partida la preparación de suelos sin remoción de este y manteniendo la vegetación o los restos de cosecha, debido a que dicha vegetación disminuye la erosión, en la medida que aumenta la estabilidad de los agregados del suelo y lo protege, así como, incrementa la capacidad de infiltración, frena los procesos de escorrentía, para lo anteriormente obtenido, se encontró coincidencia con lo planteado por García-Fayos (2004), en lo relativo a la

necesidad de mantener la cubierta vegetal, porque los procesos de erosión alteran o eliminan la superficie del suelo, que es donde se produce el establecimiento de las plántulas y donde reside gran parte de la reserva de agua y nutrientes; además, de que las plantas tienen la capacidad de interceptar y redistribuir la precipitación, constituyendo un efectivo agente de resistencia del suelo frente a la erosión.

Otra propuesta de manejo de la erosión en el área de estudio, ocupado por las máquinas de riego antes señaladas, es que se propone llevar a cabo un plan de revegetación alrededor del río, teniendo en cuenta la dinámica del ecosistema y el uso de especies nativas del lugar, las que junto a otras especies, funcionarían como nodrizas, de modo que se produzca el establecimiento del estrato herbáceo y se fomente así, la faja hidrorreguladora perdida con el paso de los años y el desarrollo de las actividades agrícolas casi hasta la misma ribera del río.

La propuesta coincide con García-Fayos (2004) quien afirma que este tipo de medida puede contribuir a mitigar el impacto negativo que provocan al sistema agrícola, las pérdidas de suelo que, como desastre ambiental, ocasionan tanto las actividades de manejo de suelo y de cultivos como las de origen natural.

Paso 3. Resultados del intercambio con productores: como resultados del taller desarrollado para sensibilizar a los productores con el tema de investigación, se encontró que:

- **Resultados de la encuesta aplicada a productores.** En la figura 5 se muestra en porcentaje el conocimiento existente en la cooperativa sobre las labores de suelo que se realizan en la CPA, para disminuir las pérdidas de este recurso por erosión.

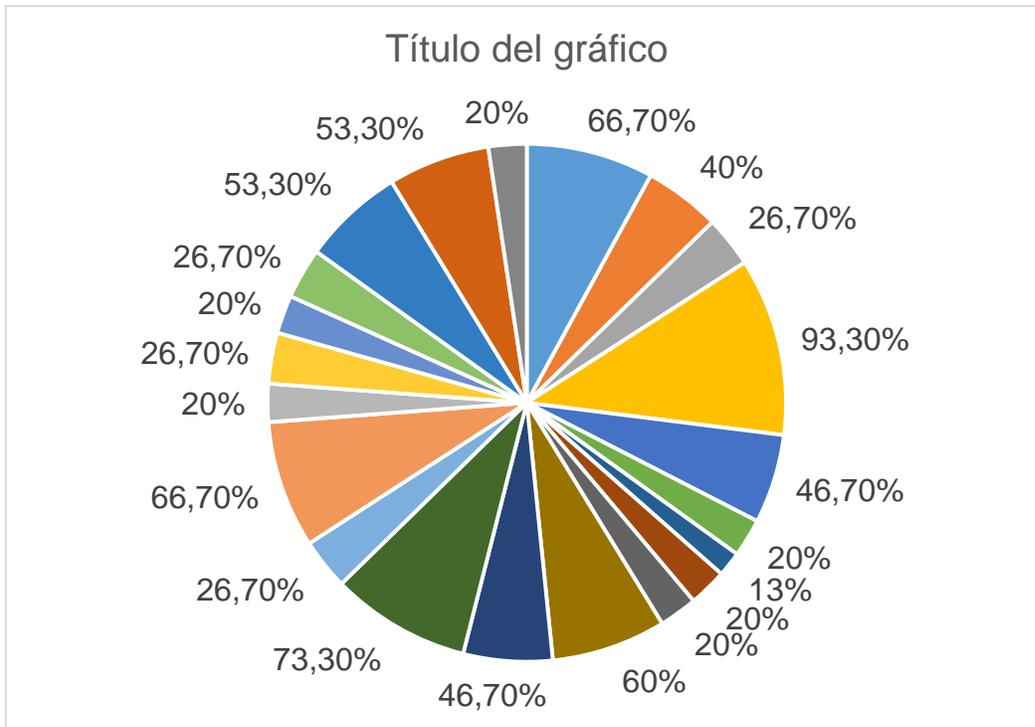


Figura5. Conocimiento de los productores de la CPA Mártires de Barbados sobre las labores de suelo que se realizan para disminuir las pérdidas por erosión.

Del análisis y procesamiento matemático y estadístico de la encuesta realizada para conocer cuáles son las labores que favorecen la ocurrencia de erosión y cómo esto ha repercutido en el manejo de este proceso erosivo en la CPA, demostró que, en esta unidad, el nivel de conocimientos respecto al manejo de la erosión es muy bajo y por ende, al no estar lo suficientemente preparados en el tema, condiciona la no existencia de capacidades hasta nivel de puesto de trabajo, lo que implica que su desempeño con se realice sin criterios conservacionistas, con lo que la CPA muestra tendencias de riesgos de vulnerabilidad frente al proceso erosivo que se acrecienta más cada día.

• **Resultados de la entrevista:** los integrantes de la Junta Directiva de la cooperativa, funcionarios de la ANAP en el municipio y de la Delegación Municipal de la Agricultura, encuestados aportaron la información que se muestra a continuación:

Como se aprecia en los análisis anteriores, el déficit de conocimiento encontrado en esta cooperativa estudiada acerca del impacto ecológico y socioeconómico producido por la agricultura convencional, ha conducido a la aparición de grandes limitaciones que pueden constituir problemas para garantizar la seguridad alimentaria, especialmente de la población hacia la cual se destinan las producciones de esta cooperativa, además, no sólo se ha provocado degradación en los recursos naturales involucrados en la producción agropecuaria fundamentalmente el suelo, sino también, ha constituido un factor responsable de la pérdida paulatina del conocimiento o saber campesino en el manejo de los diversos sistemas de producción. Por tal motivo, para alcanzar estos fines, es importante que se definan y ejecuten planes a corto, mediano y largo plazo, a partir del estado y condición del grado de degradación existente en la cooperativa, lo cual coincide con lo planteado por Alfonso y Monedero (2004).

También se encontró coincidencia con los reportes de Paneque et al. (2002) al plantearse la necesidad de que los diversos sectores sociales que se involucran en el manejo del suelo, deben participar en la definición y aplicación de las políticas que se establezcan con relación a este recurso, para así, lograr una gestión agrícola socialmente consensuada.

Paso 5. Resultados del análisis de la incidencia de la erosión en los resultados productivos de la CPA. Partiendo del análisis del conocimiento existente entre los productores y decisores de la CPA, en lo relativo a:

-Relación pérdidas de suelos / resultados productivos alcanzados en la misma en los últimos cinco (5) años, se evidenció una visión a gran escala del problema que representa la erosión hídrica en la cooperativa, para el normal desarrollo de los cultivos, por lo que es imprescindible se tome en consideración la necesidad de reorientar la toma de decisiones políticas en función de la conservación y el manejo sostenible del recurso suelo, en el marco de los servicios ecosistémicos. Además, permitió la detección de áreas críticas que

deben ser estudiadas en mayor profundidad para implementar medidas de mitigación específicas a menor escala.

- **Manejo del proceso erosivo para mitigar su impacto en la gestión productiva.** De este análisis se derivó como resultado la variabilidad espacial del riesgo de erosión hídrica, fundamentalmente en las máquinas de riego más cercanas a la ribera del río, donde puede influir en alguna medida el factor topográfico, pero la influencia mayor está dada por factores derivados de las características del suelo como la textura, que le imprimen una mayor susceptibilidad del suelo a la erosión y a la erosividad de las inundaciones; así como, al no aplicar prácticas conservacionistas para el control de la erosión, lo que hace que ocurra, en función del uso y manejo del suelo; así como, del comportamiento de las variables climáticas, fundamentalmente las precipitaciones, pérdidas de suelo, que pueden variar desde valores pequeños por la presencia de erosión real o actual (en caso de pérdida de vegetación por cambio de uso de suelo o mantener el suelo sin cubierta por períodos de tiempo prolongados mientras se realizan acciones de preparación), hasta valores altos, al producirse enormes pérdidas de suelo debido a procesos naturales como las frecuentes inundaciones del río Arimao.



Foto 2. Estado de la máquina después de la inundación

Estos resultados conllevan a establecer la propuesta de realizar estudios de control de erosión más profundos, que garanticen el establecimiento de un plan de restauración, el cual también pudiera incluir, obras estructurales, tales como la corrección de cárcavas, consolidación de faja hidrorreguladora, entre otras. En cuanto al manejo del suelo frente a la erosión fundamentalmente a escala de

máquina de riego, se propone desarrollar un uso racional del área de cultivo, precisando la necesidad de: estabilizar áreas de inundación con piedras y/o vegetación, establecer franjas de vegetación nativa, cultivar especies herbáceas entre la vegetación establecida como franjas y respetar los cauces naturales de drenaje superficial, entre otras.

Finalmente, es importante mencionar la necesidad de integrar los servicios ecosistémicos en las políticas de desarrollo agrícola de esta CPA, ya que la evaluación de los mismos, puede constituir una valiosa herramienta para su ordenamiento productivo y permitirá una planificación de los distintos usos de suelo apoyada en criterios sostenibles.

3.1.2. Resultados de la identificación de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados”

Con el uso de la información de los análisis anteriores y los datos que aportó la evaluación empírica de la ocurrencia de los procesos de erosión, en lo relativo a su evolución espacio- temporal y los efectos que los cambios en las variables climáticas y paisajísticas (uso y manejo del suelo, pueden o no contribuir a la ocurrencia de dicho proceso), se determinó que las pérdidas de suelos por erosión existente en la máquina de riego seleccionada, se comportan como se expone a continuación:

-Situación o estado actual de los factores que influyen a la erodabilidad del suelo

a) **Resultados de las mediciones del estado de agregación y estabilidad de los agregados**, se encontró que su valor medio es de ..., razón por la cual es calificado en el rango,

b) **Resultados de las mediciones de la capacidad de infiltración y la producción de escorrentía superficial**, medida a través de los surcos de erosión, se encontró...

c) **Resultados de la observación de la tendencia a la formación de costras superficiales (sellado)**. Esta observación permitió conocer que cuando el suelo permaneció por varios días sin cobertura vegetal, durante su proceso de preparación, las lluvias caídas produjeron arrastre de partículas por escorrentía en

la capa superficial del suelo, lo que dificultó la capacidad de infiltración del suelo hacia las capas inferiores del perfil y no hubo tendencia a la formación de costras superficiales o físicas, este comportamiento observado de forma local influye de forma directa en el régimen hidrológico del suelo y en la generación de erosión. Por lo que puede afirmarse que este resultado se corresponde con los reportes realizados por Auzet et al. (2005) y Le Bissonnais et al. (2005), que afirman que las condiciones de la superficie del suelo como el encostramiento, la rugosidad, la pedregosidad y/o la cobertura vegetal, tienen una gran influencia en los regímenes hidrológicos locales, ya que controlan los procesos de infiltración, generación de escorrentía y erosión

Como resultados de la seleccionaron de las variables que se consideran asociadas a la erosividad (fuerzas activas) y erodabilidad (fuerzas resistentes) del suelo, así como, a los factores de variación relacionados con el relieve, el uso y el manejo del suelo para evaluar la pérdida de suelo, se obtuvo el siguiente resultado:

- **Se seleccionan como Fuerzas activas** (asociadas a la erosividad del suelo): la cantidad de precipitación y su duración por hora, se tomó para este análisis como ejemplo, el comportamiento de esta variable climática durante los meses de mayo del período 2000-2012, lo cual que se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Comportamiento de la lluvia durante los meses de mayo del período 2000-2012

Año	Mes	Lluvia mensual (mm/h)
2000	5	107,5
2001	5	123,4
2002	5	284,2
2003	5	225,6
2004	5	141,9
2005	5	24,5
2006	5	144,4
2007	5	182,3
2008	5	77,2
2009	5	250,1
2010	5	167,8
2011	5	137,9

2012	5	402,7
------	---	-------

Fuente: datos climáticos INSMET del municipio Cienfuegos (período 2000-2012)

Como resultado del análisis de esta serie histórica de precipitación, y su asociación entre la intensidad máxima, con la duración de la lluvia y la probabilidad de ocurrencia o tiempo de retorno, con las mediciones de pérdida de suelo realizadas en la fase de campo, se encontró que por ejemplo para el período analizado, la frecuencia máxima de duración de la lluvia se comportó entre 25-30 min de forma general, con una lámina de agua con valores mínimos de 25-70 mm, valores máximos superiores a 300 mm y un valor medio de 180 mm. En la tabla anterior sólo se muestran los valores del período 2000-2012 correspondientes al mes de mayo, pero el cálculo se estimó para los meses de mayo-junio-julio de este período.

Este comportamiento de las precipitaciones, permiten afirmar que la susceptibilidad mostradas por el tipo de suelo predominante en la CPA, a las fuerzas erosivas por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo superficial (escorrentía), es considerada, generalmente, una propiedad inherente de estos suelos, constituyendo una de las formas que actúan de forma directa en el proceso de pérdidas de este recurso, con lo cual se encontró coincidencia con las investigaciones efectuadas por Lal (1988), en tipos de suelos derivados especialmente de cenizas volcánicas.

Cuadrante	puntos	Promedio de mediciones	Puntaje (EVS)	Calificación
-----------	--------	------------------------	---------------	--------------

		(mm/15 min)		
1	1	4	2	Velocidad rápida
	2	4	2	Velocidad rápida
	3	6	0	Velocidad muy lento

• **Fuerzas Resistentes** (asociada a la erodabilidad). En

el presente estudio al evaluar la disponibilidad de material erosionable, se identificaron como las variables más importantes: la textura, la estructura superficial, y la estabilidad estructural, en los cinco (5) primeros centímetros de profundidad, además, se asumieron los resultados de la evaluación de propiedades asociadas a la compactación superficial, como velocidad de infiltración, identificándose las condiciones de drenaje interno, como se muestra a continuación:

Tabla 8. Resultados de la medición de la velocidad de infiltración en el Transecto 1 de la máquina de riego No 6, CPA Mártires de Barbados



Foto 3. Valoración de la presencia de piso de aradura, sugrosor y grado de desarrollo CPA Mártires de Barbados
 Autora: Vanie López La Rosa
 Fecha: noviembre/2019

Los resultados arrojados por la medición del pie de arado encontrado de forma predominante entre los 10-15 cm por debajo del horizonte superficial, los resultados de las mediciones de la velocidad de infiltración y de la estabilidad estructural, son una evidencia clara del

efecto que han provocado sobre las propiedades físicas del suelo, el empleo de malas prácticas agrícolas para el manejo de este recurso, con énfasis el uso intensivo de la maquinaria agrícola, lo que también, de conjunto con los factores naturales, que en la CPA objeto de estudio, se produzcan procesos de compactación superficial, susceptibilidad del suelo al impacto de las precipitaciones sobre todo, cuando este se encuentra sin cobertura vegetal o con cultivos que tengan poca cobertura por períodos prolongados, estos resultados coinciden con los reportes que a tal fin realizaron Amezcua y Londoño (1997) y Malagón (1998).

• **Factores Asociados** (a la erosión hídrica superficial): a continuación, se presentan los resultados del análisis realizado a los factores asociados que aparecen en la literatura consultada y se da a conocer los seleccionados como indicadores a considerar para monitorear acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa:

- Pendiente: su medición en las micro parcelas arrojó un grado de inclinación promedio de 1,15° y 5 m de longitud. Si se tiene en consideración de que 1 grado equivale a 1,75 %, entonces el valor de inclinación o de pendiente medida fue de 2,01 %, por lo que según los criterios de evaluación definidos para la pendiente en la clave de la II Clasificación de los Suelos de Cuba (IS,1989), puede afirmarse que la pendiente se califica dentro del rango casi llano (2 -3 %).

Debido a esta calificación, este índice no fue seleccionado porque no favorece la ocurrencia de tasas de degradación de suelo cuando se realizan las labores de preparación de tierra a favor de la pendiente, ya que en reportes revisados en la literatura como los de Castillo (1994) y Sagredo (2005), las tasas máximas de degradación sólo se observan cuando las operaciones antes señaladas se realizan a favor de la pendiente elevada y las lluvias de alta intensidad impactan los suelos de baja estabilidad estructural con poca o ninguna cobertura superficial.

- Sistema de manejo: al analizar los resultados de la cobertura que ofrecen al suelo el follaje del cultivo establecido en el período en que se desarrolló la investigación, se encontró lo que se muestra en la tabla 9 siguiente:

Tabla 9. Resultados de mediciones del sistema de manejo

Cuadrante de la máquina	No de microparcels	Cultivo establecido	Etapas fenológica	Grado de desarrollo del cultivo	Altura promedio (m)	Superficie que cubre el follaje (m).
I	1	Boniato	Vegetativa	Bueno	0.20	0.4
	2	Boniato	Vegetativa	Bueno	0.20	0.4
	3	Boniato	Vegetativa	Bueno	0.20	0.4
	4	Boniato	Vegetativa	Bueno	0.20	0.4
	5	Boniato	Vegetativa	Bueno	0.20	0.4
II	1	Boniato	Vegetativa	Regular	0.17	0.3
	2	Boniato	Vegetativa	Regular	0.17	0.3
	3	Boniato	Vegetativa	Regular	0.17	0.3
	4	Boniato	Vegetativa	Regular	0.17	0.3
	5	Boniato	Vegetativa	Regular	0.17	0.3
III	1	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	2	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	3	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	4	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	5	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
IV	1	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	2	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	3	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	4	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
	5	Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3
		Tomate	Vegetativa	Regular	0.25	0.3

Fuente: mediciones de campo

Las mediciones realizadas en cada una de las micro parcelas establecidas por cuadrante de la máquina en estudio, permitió conocer que en las micro parcelas 3 y 4, fue donde el suelo mantuvo una menor cobertura, por lo cual, su capacidad de infiltración del agua se vio afectado provocándose escorrentía. Estos resultados coinciden con los de González et al. (2016) referidos a que la capacidad que tiene un suelo de permitir el paso de agua se ve afectado solo si se mantiene un sistema de labranza por varios años que permitan el cambio en la estructura del suelo a través de un número excesivo de labores o preparación del terreno. Por lo

antes expuesto este factor es seleccionado como asociado a la erosión hídrica superficial.

Al analizar el comportamiento de la escorrentía y la erosión en las micro parcelas con presencia de costras biológicas, se observó que entre las morfoespecies que componen las CBS identificadas como parte de la cobertura vegetal en la máquina de riego estudiada, se encuentran las que predominan las cianobacterias del género *Nostoc*, las cuales según la literatura consultada se plantea que son hidrofóbicas según la clasificación propuesta por Deban (1981) y menos desarrolladas, lo que implica que requieren mucho tiempo para que la gota de agua de lluvia penetre en ella, lo cual favorece el inicio de la escorrentía y disminución de la infiltración del agua hacia capas inferiores dentro del perfil de suelo. Sin embargo, se observó que, al aumentar el grado de desarrollo de la costra, la resistencia disminuyó y también la erosión, por incrementarse el porcentaje de cobertura de la superficie del suelo. Este resultado, requiere de un estudio más profundo, ya que diferentes autores como Chamizo et al. (2010) afirman que la relación de la resistencia con la escorrentía no es tan clara, de forma que a medida que disminuye la resistencia, disminuye la escorrentía, a excepción de las costras dominadas por líquenes; así como que, el tiempo necesario para la penetración de la gota de agua en la costra es mayor; mientras que, la infiltración y la cantidad de lluvia necesaria para el inicio de la escorrentía, son menores en el caso de las costras de líquenes que en otras costras menos desarrolladas y más tempranas en la sucesión vegetal, como las costras de cianobacterias

-Cantidad de raíces presentes en los horizontes superficiales, el conteo de la cantidad de raíces existentes en cada una de las calas abiertas en la máquina de riego objeto de estudio se detalla a continuación en la tabla 10:

Tabla 10. Resultados del conteo de la cantidad de raíces presentes en los horizontes superficiales

Cuadrante	No de cala	Cantidad de raíces	Calificación según parámetros de Herramientas Metodológica MST
I	1		

II	2		
III	3		
IV	4		

Fuente: mediciones de campo

Al comparar los resultados, considerando los distintos tipos de uso y de manejo realizados en cada cultivo, se encontró lo siguiente:

- Cobertura vegetal, al estimar el índice de cobertura promedio de la máquina de riego fue de 30 % del área bajo estudio, pero no se observó mejoras en la infiltración del suelo, lo que demanda un estudio más detallado de las propiedades físicas del suelo y su relación con el Índice de Cobertura (IC), ya que en los estudios de Huerta et al. (2018) se afirma que la cobertura vegetal favorece el estado de la porosidad del suelo mejorando la infiltración.

Además, la evaluación visual del comportamiento de la lámina de infiltración, en suelos con cobertura de cultivos, evidenció efectos de interacción entre tiempos y usos, es decir, que los usos afectan esta variable de forma diferente en ciertos periodos de tiempo, es decir, en dependencia de la fase del cultivo y su grado de desarrollo. Es así, que puede afirmarse que el análisis del historial de uso de suelo sirve como indicador para predecir el comportamiento de la erosión del suelo durante eventos de lluvia, lo cual coincide con reportes de Bonell (1993) que afirmó que el uso de suelo bosque, mejora la capacidad del suelo para almacenar y retener las partículas de suelo y el agua, debido al aporte constante de la materia orgánica.

-Resultados del empleo del método USLE para estimar pérdidas de suelo por erosión hídrica

En el presente estudio, su aplicación fue limitada; sólo pudo realizarse la determinación empírica para estimar la generalización extrema del problema real de la erosión observada en el tipo de suelo predominante en la máquina de riego estudiada, lo cual permitió obtener un estimado de la pérdida de suelo por erosión laminar y en surcos a nivel estimativo, a través de la interacción de los factores clima (precipitaciones), tipo de suelo y topografía con el impacto del uso y manejo del suelo, y aunque no se obtuvo un valor estimado de la pérdida de suelo, si puede afirmarse al observar la capacidad de la vegetación (cultivo establecido) de

mantener el suelo en su lugar, mediante la comparación de las tasas de erosión real en el lugar / las tasas de erosión potencial debido a las características propias del suelo, y que se intensifican en condiciones de suelo desnudo, permiten recomendar la necesidad de establecer medidas o prácticas conservacionistas en la cooperativa para el control de la erosión, coincidiendo con los estudios con fines exploratorios y comparativos realizados por Orúe (2007) y Ramírez (2010).

La realización del presente trabajo permitió obtener una visión a gran escala del problema de erosión hídrica en la cooperativa, pero se requiere llevar a cabo futuras investigaciones más profundas y con mayor tiempo para la detección de áreas críticas para implementar medidas de mitigación específicas a menor escala, con lo cual, se podrá orientar la toma de decisiones políticas para la conservación y el manejo sostenible del recurso suelo, en el marco de los servicios ecosistémicos.

- **Acciones y alternativas de mejoras identificadas para mitigar la erosión y garantizar la sostenibilidad productiva de suelos en la CPA “Mártires de Barbados”**

1- Mantener la cobertura vegetal, evitando el empleo de máquinas y equipos de preparación de suelos que eliminen esta cobertura y pulvericen el suelo.

2- Sistematizar el análisis del historial de uso de suelo, ya que sirve como indicador para predecir el comportamiento de la erosión del suelo durante eventos de lluvia.

3- Detección de áreas críticas para implementar medidas de mitigación específicas a menor escala.

3.1.3. Resultados de la propuesta de programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos de la cooperativa objeto de estudio

Los datos aportados por los análisis anteriores y las medidas para manejo integral de la erosión evidenciado en la bibliografía consultada, permitió conformar el contenido de la propuesta de programa resultante de la presente investigación, el cual se muestra en la Figura 5, a continuación:



Figura xxx. Representación gráfica de la estructuración de los componentes del programa de alternativas y mejoras que se propone para enfrentar la erosión en la CPA "Mártires de barbados" del municipio Cienfuegos.

Fuente: elaboración propia

El resultado de la validación teórica de esta conformación, realizada con criterios de expertos y su procesamiento permitió conocer lo que se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de la validación teórica

Expertos	Valor del Juicio por experto		
	Pertinencia	Coherencia	Factibilidad
Obreros	3	4	5
Técnicos	5	4	5
Decisores	4	4	4
Especialistas de la delegación MINAG	4	5	4
Total	16	17	18
%	80,00	85,00	90,00

Fuente: trabajo con los expertos

Al someter a tratamiento estadístico, el criterio de los expertos considerados para la validación teórica de la propuesta de contenido diseñada para el programa, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, permitió analizar las hipótesis H_0 y H_1 donde:

H_0 : existe concordancia entre los expertos

H_1 : no existe concordancia entre los expertos.

Lo cual arrojó como resultados que:

H_0 : la diferencia de criterio entre los expertos se definió según los resultados de los estadísticos de contraste, para lo cual la Significación Asintótica mostró un valor de 0,978 y demostró que existe interrelación entre los criterios considerados, por lo que no fue necesario evaluar H_1 .

Este análisis reforzó la pertinencia de la propuesta de contenido diseñado para el programa.

También se sometió a análisis de frecuencia las actividades o medidas a incluir en la Planificación de acciones de prevención y control de la erosión, por lo que partiendo de que los valores de frecuencia acumulada relativa de los criterios emitidos por los expertos referentes a las categorías de muy adecuado y adecuado representan el 100 %, no se consideró necesario hacer otras valoraciones para arribar a conclusiones al respecto, pues lo anterior planteado lo sitúa en la condición de **adecuado**, los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados del análisis de frecuencia de las categorías evaluativas por expertos

Categorías	códigos	frecuencia	frecuencia relativa	frecuencia acumulada	frecuencia acumulada relativa
MA	5	14	93	14	93
A	4	1	0.06	15	100
R	3	0	0	15	100
PA	2	0	0	15	0
NA	1	0	0	15	0
Total		15	100		

Fuente: elaboración propia

Esta validación teórica a partir de los criterios de expertos, permitió considerar que el contenido diseñado para conformar el **Programa de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión de suelos**, de la cooperativa objeto de estudio se adecua a los propósitos para los cuales se propone, por lo que su implementación lo convertirá en una herramienta eficaz para el manejo del suelo, de cultivo y el clima para mitigar el impacto negativo de los procesos de degradación existentes en esta cooperativa, con énfasis en la erosión hídrica.

En el anexo 11, se detalla el contenido del programa resultante de esta investigación, validado por los expertos y que coincide con programas de este tipo encontrados en la literatura consultada ya que, de modo general, al igual que en los reportes de Brooks et al. (1991) y Oñate y Valdivieso (2004) para el control de la erosión en suelos de uso agrícola, se considera como aspecto prioritario que los procesos erosivos no son de carácter local, y se toman en consideración, los principios que rigen las cuencas hidrográficas, donde para la planificación que se establezca desde el punto de vista del manejo y conservación de suelo, para reducir pérdidas por erosión, se tratan los problemas no sólo del suelo, sino también del agua, con la finalidad de controlar el escurrimiento superficial y reducir la erosión hídrica a pequeña escala.

Conclusiones

- El diagnóstico para conocer la situación actual de las afectaciones de los procesos erosivos que muestran los suelos de uso agrícola en la CPA objeto de estudio, permitió inferir que esta se encuentra bajo una gran presión antrópica y natural, que han provocado numerosas modificaciones en las propiedades del suelo, en la biodiversidad y en la dinámica natural del agua.
- Se seleccionaron las variables que se consideran asociadas a la erosividad (fuerzas activas) y erodabilidad (fuerzas resistentes) del suelo, así como, a los factores de variación relacionados con el relieve, el uso y el manejo del suelo para evaluar la pérdida de suelo.
- En la identificación de acciones y alternativas de mejoras que mitiguen la erosión y sostenibilidad productiva de suelos de la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Mártires de Barbados” destacan: mantener la cobertura vegetal con énfasis en la vegetación nativa como las costras biológicas de suelos, sistematizar el análisis del historial de uso de suelo y detección de áreas críticas para implementar medidas de mitigación específicas a menor escala.
- Se elaboró un Programa de acciones y alternativas de mejoras para mitigar la erosión de suelos en la cooperativa objeto de estudio, adecuado a los propósitos para los cuales se propone y su implementación lo convertirá en herramienta eficaz para el manejo del suelo, de cultivo y el clima, con énfasis en la erosión hídrica.

Recomendaciones

- Lograr que la planificación que se establezca en la CPA desde el punto de vista del manejo y conservación de suelo, para reducir pérdidas por erosión, se traten de conjunto los problemas no sólo del suelo, sino también del agua, con la finalidad de controlar el escurrimiento superficial y reducir la erosión hídrica a pequeña escala.
- Desarrollar investigaciones futuras más profundas y con mayor tiempo, para lograr la detección de áreas críticas donde se implementen medidas de mitigación específicas a menor escala, lo cual, contribuirá a orientar la toma de decisiones para la conservación y el manejo sostenible del recurso suelo, en el marco de los servicios ecosistémicos.

Bibliografía

- Agudelo, C A, Torrente, A, & Vargas, A. (2015). Evaluación comparativa de pérdidas de suelo en el corredor biológico entre parques nacionales Puracé y Cueva de los Guácharos en el Huila. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2, 41-52.
- Alatorre, L, & Bequería, S. (2009). Los modelos de erosión. *Cuaternario y Geomorfología*, 23, 29-48.
- Alfonso, C A, & Monedero, M. (2004). *Uso, Manejo Y Conservación de Suelos. Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y Forestales* (Primera edición). Habana, Cuba.
- Amézquita, E, & Londoño, H. (1997). La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en el uso y manejo. *Suelos Ecuatoriales*, 27, 163-168.
- Austin, A T, Yahdjian, L, Stark, J M, Belnap, J, Porporato, A, Norton, U, ... Schaeffer, S M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecología*, 141, 221-235. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1>
- Balmaseda, C, Ponce de León, D, Juan Martín, N, & Vargas, H. (2006). *Compendio de Suelo*. La Havana, Cuba.
- Belnap, J. (2001). Microbes and Microfauna Associated with Biological Soil Crusts. *Ecological Studies*, 150, 167-174. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8_14
- Belnap, J. (2003). Comparative structure of physical and biological soil crusts. Recuperado a partir de https://digitalcommons.usu.edu/crc_research/523/
- Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles, 20. <https://doi.org/10.1002/hyp.6325>
- Belnap, J, & Lange, O L. (2001). Structure and Functioning of Biological Soil Crusts: a Synthesis. En *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)* (Vol. 150). Heidelberg, Berlin, Alemania: Springer. Recuperado a partir de https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8_33

- Borselli, L, Cassi, P, & Sanchis, P. (2009). Soil erodibility assessment for applications at watershed scale, in Costantini. *Manual of Methods for Soil and Land Evaluation*, 98-117.
- Bowker, M A. (2007). Biological Soil Crust Rehabilitation in Theory and Practice: An Underexploited Opportunity. *Restoration Ecology*, 15(1), 13-23.
- Bowker, M A, Belnap, J, Davidson, D W, & Goldstein, H. (2006). Correlates of biological soil crust abundance across a continuum of spatial scales: support for a hierarchical conceptual model. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 152-153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01122.x>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Agronomía, Volumen 33(2)*, 117-124. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Calonge, M. (2019). La importancia del suelo. Recuperado a partir de <https://www.ecoagricultor.com/la-importancia-del-suelo/>
- Cartes, G. (2016). Degradación de los Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. Recuperado a partir de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>
- Castillo-Monroy, A P, & Maestre, F T. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 1-21. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100001>
- Chamizo, S, Rodríguez-Caballero, E, Miralles-Mellad, I, Afana, A, Lázaro, R, Domingo, F, & Calvo-Cases, A. (2010). Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos. Ecología de Montaña*, 165, 69-96. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165004>
- Concostrina, L, Martínez, I, Huber, E, & Escudero, A. (2013). Efectos y respuestas de la Costra Biológica del Suelo en ecosistemas áridos: avances recientes a nivel de especie. *Revista Científica de Ecología y Medioambiente*, 22(3), 6. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.13>

- Debano, L F. (1981). Water repellent soils: a state of art. Gen. Tech. Rpt. PSW-46. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda, & Normativa. (2017). Degradación del suelo. Recuperado a partir de <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/>
- Echeverría, N. (2006). Erodabilidad de suelos del sur de la Región Semiárida Argentina. *Ciencia del Suelo*, 24.
- Eiza, M. (2020). La degradación de los suelos y sus consecuencias. Recuperado a partir de <https://www.infocampo.com.ar/la-degradacion-de-los-suelos-y-sus-consecuencias/>
- Encarnación, L. (2013). *Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono* (Tesis doctoral). Universidad de Murcia, Murcia, España. Recuperado a partir de <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/35935/1/TESIS%20DOCTORAL%20E.%20GARC%c3%8da.pdf>
- Espejo, R. (2016). La Agricultura de Conservación, herramienta para potenciar el papel del suelo como sumidero de CO₂ atmosférico y defender a los suelos agrícolas de la erosión. *Agricultura de conservación*, 33, 90-97.
- Espinosa, M, Andrade, E, Rivera, P, & Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Redalyc*, 77-88.
- FAO. (2015). Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO. (2017a). Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/americas/prioridades/suelo-agua/es>
- FAO. (2017b). Salvar nuestros suelos: encontrar formas de detener la erosión. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/news/story/es/item/1194349/icode/>

- FAO. (2017c). Siete países latinoamericanos desarrollarán sistemas nacionales de información sobre suelos. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/1034289/>
- Fernández, D. (2018). *Propuesta de acciones para mejorar la calidad del suelo en la finca «Guasimal», provincia de Cienfuegos* (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
- Ferreti, A. (2016). Denuncian que la desertización amenaza al 16 % de la superficie de Brasil. Recuperado a partir de <https://rpp.pe/mundo/latinoamerica/denuncian-que-la-desertizacion-amenaza-al-16-de-la-superficie-de-brasil-noticia-972259>
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. (2011). Guía sobre prácticas de conservación de suelos. Recuperado a partir de https://infoagro.net/sites/default/files/migrated_documents/attachment/GUIASOBR_EPRACTICASDE.pdf
- Gálvez, V. (2002) Determinación y solución de los factores limitantes para la obtención de rendimientos sostenibles de arroz en la UEBA Caribe. *Informe final*.
- García, F, Terra, J, Sawchik, J, & Pérez, M. (2017). Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo. *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 100-104.
- García, J, Beguería, S, Lana, N, & Nadal, E. (2017). Ongoing and emerging questions in water erosion studies. *Land Degradation & Development*, 28(1), 5-21.
- García-Fayos, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. *Ecología del mundo mediterránea en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente*, 309-334.
- Gardi, C, Angelini, M, Barceló, S, Comerma, J, Cruz Gaistardo, C, Encina, A, Vargas, R. (2014). Alas de suelos de América Latina y el Caribe. *Comisión Europea*, 176. <https://doi.org/10.2788/37334>
- Gómez, N, Villagra, K, & Solorzano, M. (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo, 31(1), 170-180. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506>

- González, O, Bojórquez, J, Flores, F, Murray, R, & González, A. (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México. *Cultivos tropicales*, 37(2), 45-55.
- Gvozdenovich, J, Pérez, M, Novelli, L, & Barbagelata, P. (2017). ¿Puede WEPP mejorar la predicción de la erosión de suelos respect a USLE? *Ciencia del Suelo*, 35(2), 259-272.
- Hernández, A, Vera, L, Naveda, C A, & Monserrate, A. (2017). Variations in some soil properties because of the land use change in the middle and low parts of the Membrillo micro-watershed, Manabi, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 5.
- Herweg, K. (1998). Valoración del Daño por Erosión Actual (VADEA).
- Honorato, R. (2001). Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 28, 7-14.
- Huerta, J, Oropeza, J L, Darío, R, Ríos, J D, Martínez, M R, Barreto, O A, ... Mancilla, O R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *IDESIA*, 36(2), 153-162. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>
- La Rosa, E. (2018). *Cambios de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las laderas del cerro Concacucho post forestación en la Universidad Peruana Unión, Ñaña, Lima* (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión, Ñaña, Lima, Perú. Recuperado a partir de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1176/Eliel_Tesis_Bachiller_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Loredo, S, Beltrán, F, & Moreno, M. (2007). Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis.
- Malagón, D. (1998). El recurso suelo en Colombia- Inventario y Problemática. *Academia Colombiana de la ciencia de los suelos*, 82, 13-52.
- Mancilla, G. (s. f.). Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en el campo forestal. *Uso y conservación de suelos*.
- Martínez, F, García, C, Gómez, L A, Aguilar, Y, Martínez, R, Castellanos, N, & Riverol, M. (2017). Manejo sostenible de suelos en la agricultura cubana. *Agroecología*, 12(1), 25-38.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2019). Suelos en Colombia. Recuperado a partir de <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>
- Mogollón, J P, Martínez, A, & Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22-28.
- Monroy, F L, Álbarez, J, & Alvarado, O. (2017). Distribución espacial de algunas propiedades físicas del suelo en un transecto de la granja Tinguavita, Paipa. *U.D.C.A Act. & Div*, 20(1), 91-100.
- Montanarella, L. (2015). Govern our soils. *Nature*, 528, 1-2.
- Moreno, R, Campos, P, Avendaño, J, Núñez, V, Gil, N, Salas, A, & Joel, E. (2017). Distribución especial y análisis de la pérdida de suelo en microcuencas de la Sierra de Vaqueros (Salta, Argentina) mediante el uso de un SIG. *Espacio y Desarrollo*, 30, 161-192.
- Morgan, J. (2005). Erosión y Conservación de suelos.
- Movillon, M, Richards, R, & Tumawis, H. (2001). What happens on earth in one minute? In: Bridges EM et al. (eds). Response to Land Degradation.
- Navarro, N. (1999). Degradación de los suelos provocada por el monocultivo en la granja arrocera Caribe". *Agricultura Orgánica*, 4(1), 16-17.
- Oldeman, L R. (1990). HakLeling, R.T.A. and Sombroek, W.G. 1990. World Map of the status of human-induced Soil degradation: maps and explanatory note. *ISRIC*, 27.
- Oldeman, L R. (1994). *Global Extent of Soil Degradation*. The Netherlands: AJ Wageningen. Recuperado a partir de <https://edepot.wur.nl/299739>
- Oñate, F, & Valdivieso, F. (2004). Metodología para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en zonas áridas y su aplicación en el manejo y protección de proyectos hidráulicos. *Electrónica de la REDLACH*, 1(1), 27-32.
- Orúe, M E. (2007). Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el Modelo USLE con apoyo de SIG. TELEDETECCIÓN- Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional, 185-192.
- Otero, A. (1998). Informe sobre el estado de degradación de los suelos de la Llanura Sur Occidental de la provincia de Pinar del Río, 12.

- Paneque, R, Haroldo, C, & Elidí, R. (2002). Agricultura conservacionista-camino para una agricultura sustentable. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(1), 1-5.
- Pentón, G. (2018). Agroproductive effect of silkworm rearing waste as biofertilizer in two forage species. *Pastos y Forrajes*, 41(2), 114-122.
- Pérez, J, & Merino, M. (2015). Definición de problemas ambientales. Recuperado a partir de (<https://definicion.de/problemas-ambientales/>)
- Piscitelli, M. (2015). Degradación de suelos. Recuperado a partir de <https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos>
- RAE. (2019). Degradación. Recuperado a partir de <https://dle.rae.es/degradaci%C3%B3n>
- Ravi, S, Breshears, D, Huxman, T, & Odorico, P. (2010). Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology*, 116(3-4), 236-245.
- Remley, P, & Bradford, J. (1989). Relación de la morfología de la corteza del suelo con los parámetros de erosión entre surcos. *Soil Science Society of America Journal*, 53(4), 1215-1221.
- Repetur, M J. (2017). *Funcionalidad de costras biológicas ante pulsos de riego que simulan precipitaciones menores a 10 mm en la Reserva de Biosfera de Ñacuñán*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Recuperado a partir de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/9476/tesis-irnr-repetur-mara-jos-2017.pdf
- Ríos, E, González, I D, & Cotler, H. (2015). Suelos, bases para su manejo y conservación. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (Cecadesu). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/285591406_Suelos_bases_para_su_manejo_y_conservacion/link/5661178808ae15e7462c2821/download
- Rodríguez, I. (2013). *Reciclado en suelos de lodos de refinería: nuevas aproximaciones para la biodegradación de hidrocarburos mediante el manejo de enmiendas orgánicas*. (Tesis de grado). Universidad de Murcia, Murcia, España. Recuperado a partir de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/128510/TIRA.pdf?sequence=1>

- Román, J R. (2014). *Efectos de las biocostras en las pérdidas de carbono orgánico por escorrentía y erosión en una zona acarcavada* (Grado en ciencias ambientales). Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales Departamento de Agronomía, Almería, España. Recuperado a partir de <http://repositorio.ual.es/handle/10835/3716>
- Saavedra, J. (2015). EL Suelo en nuestra vida. Recuperado a partir de <https://blogzamorano.wordpress.com/2015/10/16/suelos/>
- Sánchez, A. (2014). *Evaluación de un sistema ganadero en el cambio de uso del suelo y el manejo sostenible de tierra* (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
- Santos, E. (2018). ¿Qué son los problemas ambientales? Recuperado a partir de <https://parquesalegres.org/biblioteca/blog/los-problemas-ambientales/>
- Silva, S M, & Correa, F J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Universidad de Medellín*, 12(23), 13-34.
- Somarriba, M, Obando, M, & Alonso, J. (2005). Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica. Managua, Nicaragua.
- Tauta, J. (2017). *Determinación de la erosión hídrica en caña panelera (Saccharum officinarum) utilizando un simulador de lluvia* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Tejeda, R. (2013). *Caracterización de los suelos de la finca «Santa Lina» en Cienfuegos, a fin de aplicar en los mismos un cambio de uso de suelo*. (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.
- Toledo, V. (2009). Las Costras Microbióticas del Suelo. *Revista de Investigación*, 33(68), 18.
- Torri, D, Regues, D, Pellegrini, S, & Bazzoffi, P. (1999). Within storm soil surface dynamics and erosive effects of rainstorms, 38, 131-150.
- Urquiza. (2011). Manual de procedimientos para manejo sostenible de tierras. Recuperado a partir de

<http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2934/1/manual%20manejo%20sostenible%20de%20tierra.pdf>

- USDA-ARS. (2008). Draft science documentation, Revised Universal Soil Loss Equation. Recuperado a partir de <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/64080510/RUSLE/RUSLE2_Science_Doc.pdf
- Vargas, F. (2010). *Estimación de pérdida de carbono en el suelo por erosión hídrica laminar bajo diferentes escenarios de producción hortícola y ganadera en la subcuenca del río Birrís, Costa Rica* (Tesis Maestría). Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica.
- Velásquez, J A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1). Recuperado a partir de <http://oaji.net/articles/2017/5565-1507170156.pdf>
- Verdezoto, V H, & Viera, J E. (2018). Characterization of Agricultural production systems in the Guarguallá-Licto irrigation project, canton Riobamba, province of Chimborazo. *Agricultural Science*, 11(1), 45-53. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.198>
- Wischmeier, W H, & Smith, D D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-a Guide to Conservation Planning- USDA. *Agriculture Handbook*, 59.
- Wischmeier, W H, & Smith, D D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses, *Agricultural Handbook* 537, 58.
- Zinck, J A. (2017). Suelos, *Información y Sociedad*, 44(2), 113-124.

Anexos

Anexo 1. Datos climáticos mensuales del período 2000- 2011 de la Estación Cienfuegos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	Tmed	Hrmed	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz	direcc predominante	velocidad media en la dir pred km/h	Hrmax med	Hrmin med
2000	1	27,8	14,6	20,5	76	49,4		3	10,9	97	52
2000	2	29	15	21,2	73	8,6	6,4	3	10,2	96	48
2000	3	30,8	16,1	22,9	69	16,4	6,5	3	11,1	95	44
2000	4	31,3	18,1	24,2	70	71,5	7	3	10,9	95	47
2000	5	32,8	19,7	25,8	70	107,5	8,6	5	7,5	94	46
2000	6	32,5	22	26	80	289,3	5,7	5	7,7	96	58
2000	7	33,3	22	26,7	78	188,3	8,1	5	4,7	97	56
2000	8	32,6	22	26,3	82	224,9	6,6	3	8,1	97	60
2000	9	32,4	22,3	26,3	87	173,2	5,2	5	4,8	98	67
2000	10	30,3	18,9	23,8	82	118	6,2	3	10,5	97	59
2000	11	30,1	17,5	23	77	2	7	3	7,8	97	53
2000	12	27,6	18,2	22,3	84	54,3	3,5	3	9,7	98	64
2001	1	25,9	11,8	18,3	76	12,9	6,8	3	8,1	97	53
2001	2	30,8	18	23,6	75	17,4	8	3	6,5	97	48
2001	3	30,6	16,2	22,8	71	28,1	8,5	9	14,3	96	46
2001	4	32,5	18,6	24,8	71	124,2	8,8	3	7	95	42
2001	5	30,9	19,7	24,6	76	123,4	6,2	3	7,9	95	53
2001	6	33,	21,	26,	78	203	8,5	5	6,5	96	55

01		4	4	7								
20		32,	21,	26,								
01	7	8	5	6	80	165,3	7,3	5	7	97	58	
20		33,	22,									
01	8	7	6	27	82	160	7,5	3	4,5	97	59	
20		32,	21,									
01	9	2	9	26	83	223,5	6,7	3	3,4	98	62	
20		30,	21,	25,								
01	10	5	9	5	84	120,4	6,6	3	8,3	97	67	
20		28,	16,	21,								
01	11	6	2	7	81	157	7,4	5	9,9	98	60	
20		28,	17,	22,								
01	12	9	5	6	83	37,1	6,4	3	5,6	98	63	
		T ma x me d	Tmi n me d	T me d	Hr me d	lluvia mensu al (mm/h)	Hora s luz	direcc predomin ante	velocid ad media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med	
20		28,	16,	21,								
02	1	7	1	8	78	6,1	8,2	3	5,7	98	53	
20		29,		22,								
02	2	2		1	76	71,1	8	3	7,8	97	54	
20		31,		23,								
02	3	4		9	74	42,6	9,1	5	13,9	97	48	
20		32,	18,	24,								
02	4	4	5	9	69	80,3	9,9	4	11,3	95	44	
20			20,	26,								
02	5	33	9	3	76	284,2	8,1	5	5,7	96	53	
20		31,	22,	26,								
02	6	8	1	5	82	332,3	6,6	9	12,8	97	63	
20		33,	22,	27,								
02	7	5	1	1	80	394	9,1	3	3,2	97	58	
20		33,	21,	26,								
02	8	2	6	5	83	234,2	8	5	5,3	98	61	
20		31,	22,	26,								
02	9	6	1	3	86	369,4	6,6	5	5,2	98	69	
20		31,	21,	25,								
02	10	8	1	9	84	165,2	8,2	5	11	98	62	
20			18,	23,								
02	11	30	9	7	82	47,8	7,6	3	15,7	98	60	
20		28,	17,	22,								
02	12	7	5	2	82	47	7	5	14,2	97	62	
20		25,	12,	18,								
03	1	5	8	8	78	22,7	6,5	3	14,7	97	56	
20		30,	17,	23,								
03	2	30,	17,	23,	78	18,5	9,4	5	11,7	98	53	

03		8	2	2								
20		31,	19,	24,								
03	3	5	1	7	78	205,8	8,5	9	18,3	97	54	
20		31,	17,	23,								
03	4	3	2	8	72	113,2	9,1	4	16,3	96	48	
20		32,	22,	26,								
03	5	2	1	3	79	225,6	8,4	5	5	96	59	
20		32,	22,	26,								
03	6	6	2	4	81	338,8	7	5	5,6	97	60	
20		33,	22,	26,								
03	7	1	5	8	81	297	8,2	5	7,4	97	60	
20		33,	22,	26,								
03	8	2	9	8	83	163,6	6,9	5	7,7	98	61	
20		32,	22,	26,								
03	9	8	6	4	85	150,1	7,3	5	4,4	98	66	
20		32,	21,	25,								
03	10	3	1	6	84	92,3	8,2	3	7,3	98	63	
20		29,	19,	23,								
03	11	9	3	7	83	19,7	6,8	3	8,6	98	62	
20		27,	15,	20,								
03	12	3	6	8	80	33,2	6,1	4	10,6	97	59	
20		28,	14,	20,								
04	1	2	1	4	76	9,2	7,7	4	8,9	97	51	
		T ma x me d	Tmi n me d	T me d	Hr me d	lluvia mensu al (mm/h)	Hora s luz	direcc predomin ante	velocid ad media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med	
20		29,	16,	22,								
04	2	9	7	6	74	71,3		5	11	97	48	
20		30,	16,	22,								
04	3	4	5	7	70	4		4	20,9	96	46	
20		32,		23,								
04	4	2	17	9	66	45,2		5	12,4	93	43	
20		33,	20,	26,								
04	5	5	6	2	68	51,1		5	12,2	92	46	
20		34,	22,	26,								
04	6	3	2	9	77	141,9		5	7,4	95	53	
20		32,	21,	26,								
04	7	9	9	3	81	223,3		5	6,6	96	61	
20		33,	22,	26,								
04	8	2	2	9	82	286,4		5	4,9	97	61	
20		32,	21,	26,								
04	9	6	9	6	82	121,1		4	9,7	97	62	
20		31,	20,	25,								
04	10				82	59,5		5	12,6	97	60	

04		7		1								
2004	11	30,2	17,2	23	78	1,7			5	18,2	97	54
2004	12	28,5	15,4	21,2	76	2,1			5	16,2	96	53
2005	1	28,4	13,7	20,4	73	0,2			5	17,1	96	49
2005	2	29,3	13,5	21,1	68	9			5	13,1	96	43
2005	3	31,2	16,5	23,5	70	29,1			9	25,6	95	45
2005	4	32,5	17,6	24,5	63	34,7			5	14,1	90	40
2005	5	33,9	21,1	26,5	69	24,5			5	14,8	93	46
2005	6	32,5	23,3	26,8	81	298,5			5	8,2	96	58
2005	7	33,7	23,3	27,5	79	398,2	7,2		5	13,4	94	55
2005	8	33,6	22,9	27,3	82	203,8			5	9	96	56
2005	9	33	22,2	26,8	82	195			5	8,5	96	57
2005	10	30,2	21,5	25,2	85	269,4			3	17,1	96	67
2005	11	29,3	18,9	23,5	82	7			4	13,3	96	57
2005	12	28,6	16,2	21,6	79	26,9			5	12,9	96	49
2006	1	28,1	15,2	20,8	79	65,2			5	17	96	49
2006	2	28,2	14,5	20,6	76	22,9			5	16,1	96	46
		T ma x me d	Tmi n me d	T me d	Hr me d	lluvia mensu al (mm/h)	Hora s luz	direcc predomin ante	velocid ad media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med	
2006	3	30,6	15,3	22,1	67	8,5			4	11,7	93	34
2006	4	32,8	17,8	24,6	66	40,9			3	19,6	92	34
2006	5	33,2	19,6	25,7	71	144,4			3	15,3	93	41
2006	6	32,	22,	26,	80	121,8			5	10,1	95	57

06		2	2	6								
2006	7	33,2	22,3	26,5	83	196,1			5	11,7	96	58
2006	8	33,6	22,5	26,9	82	153,1			5	11,2	96	59
2006	9	33,3	22,4	26,6	83	396,2			5	7,5	96	56
2006	10	32,1	21,5	25,9	82	10,6			3	15,2	96	57
2006	11	29,8	17,7	22,9	79	2,9			4	15,1	95	52
2006	12	29,7	20	24	81	99,7			4	14	95	57
2007	1	29,9	17,9	23,1	77	5,3			4	11,4	96	48
2007	2	29,9	17,2	22,6	75	36,6			5	9,7	94	46
2007	3	30,9	17,4	23,5	69	2,2			3	13,6	93	40
2007	4	32,1	18	24,5	67	60,2			4	11,7	92	38
2007	5	32,3	20,5	25,3	75	182,3			5	10,7	94	47
2007	6	32,1	22,6	26,3	82	347,8			4	7,1	95	60
2007	7	33,9	22,6	27,2	79	330,3			5	5,3	95	53
2007	8	33,2	22,7	27	82	164			5	6,5	94	58
2007	9	32,7	22,1	26,1	84	252			4	6,2	96	58
2007	10	30,9	22,7	25,8	87	354,1			5	7,5	97	66
2007	11	29,4	17,7	22,6	79	0,5			4	11,1	96	50
2007	12	29,4	17,6	22,7	78	11			4	11	96	49
2008	1	28,6	16,4	21,6	75	14			4	10,3	94	45
2008	2	30,5	17,9	23,3	74	42,1			3	9	95	43
2008	3	31	18,2	23,8	72	18,1			4	12,1	94	43
Año	Me s	T ma x	Tmi n me	T me d	Hr me d	lluvia mensu al	Hora s luz	direcc predomin ante	velocid ad media	Hrm ax med	Hrmi n med	

		med	d			(mm/h)			en la dir		
		d)			pred		
									km/h		
20		32,	18,	24,							
08	4	1	4	2	69	37,3			4	9,8	92 38
20		33,	21,	26,							
08	5	7	2	7	70	77,2			4	9,3	91 40
20		33,	22,	26,							
08	6	3	7	9	77	318,7			5	10,1	94 50
20		33,	22,	26,							
08	7	8	2	9	77	164,2			5	9,4	94 46
20		33,	22,	26,							
08	8	1	5	9	79	323,9			5	9,8	95 54
20											
08	9					399,3			3	8,4	
20											
08	10					172			3	8,3	
20											
08	11					74,6			3	9,6	
20											
08	12					21			3	4,4	
20											
09	1					1,8			3	6,6	
20											
09	2					17,6			3	7	
20											
09	3					47,6			4	6,7	
20											
09	4					25			4	9	
20											
09	5					250,1			4	3,2	
20											
09	6					303,4			4	3,5	
20			23,	27,							
09	7		1	7	78	107,6			5	5,8	96 50
20			23,	27,							
09	8		1	4	79	112,6			5	5,3	96 50
20			22,	26,							
09	9		4	5	82	150,3			4	3,2	96 54
20			21,	26,							
09	10		6	2	80	16,8			3	4,6	96 52
20				23,							
09	11	29	19	5	80	69,8			3	5,8	95 52
20		29,	18,	23,							
09	12	3	5	2	80	71,9			4	4	96 51
20		26	14,	19,							
09	1		19,		76	25,7			4	4	94 47

10			1	7								
20	2	26,2	13,9	20	75	137,8			1	9,8	94	46
20	3	28	14	20,7	69	15,9			1	7,9	93	38
20	4	31,2	18,4	24,4	69	49,9			3	9,9	92	40
Año	Me s	T ma x me d	Tmi n me d	T me d	Hr me d	lluvia mensu al (mm/h)	Hora s luz	direcc predomin ante	velocid ad media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med	
20	5	33,2	21,9	26,8	74	167,8		5	7,8	95	44	
20	6	34,7	23,7	28,4	74	52		5	4,8	93	45	
20	7	32,9	23,2	27,1	82	178,9		5	4,1	96	57	
20	8	32,9	23,2	27,1	83	290,9		5	3,6	96	60	
20	9	32,3	22,9	26,6	84	202,1		5	4,7	97	60	
20	10	30,9	20,9	25,1	82	64,1		3	3,9	97	56	
20	11	28	17,4	22,1	80	68,9		3	4,8	96	55	
20	12	24	10,9	17,2	78	41,6		4	5	96	49	
20	1	27,2	15,1	20,7	78	60		4	6,5	95	50	
20	2	29,4	16,1	22,1	72	0,2		5	5,5	95	40	
20	3	30	15,7	22,4	69	97,4		5	7,2	94	35	
20	4	33,5	19,2	25,7	68	32,8		5	5,6	94	34	
20	5	33,3	19,7	25,7	71	137,9		3	7,1	94	38	
20	6	32,3	22,4	26,6	80	306,8		4	5,8	95	56	
20	7	33,2	22,6	27,1	80	170,1		5	4,3	96	53	
20	8	33,9	22,8	27,3	80	184,9		5	2,4	96	51	
20	9	32,	22,	26,	83	110,1		3	3,2	96	57	

11		7	2	4								
20		30,	21,	25,								
11	10	3	9	2	85	180,8			3	4,3	97	63
20		28,	18,									
11	11	9	1	23	81	1,7			3	5,5	97	55
20		27,	17,	22,								
11	12	8	3	1	81	1,9			5	8,1	96	55
20			15,									
12	1	28	4	21	74	2,2			5	6,3	94	43
20		29,	17,									
12	2	8	5	23	74	22,8			5	7,6	94	44
20				23,								
12	3	31	18	8	70	61,2			5	8,7	94	37
20		31,	18,	24,								
12	4	2	6	5	69	104			5	7,8	92	39
20		31,	21,	25,								
12	5	1	6	7	79	402,7			5	4,1	94	54

Análisis del comportamiento de las variables con valores extremos

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2000	2	29	15	21,2	73	8,6	6,4
2000	3	30,8	16,1	22,9	69	16,4	6,5

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)
2000	5	32,8	19,7	25,8	70	107,5
2000	6	32,5	22	26	80	289,3
2000	7	33,3	22	26,7	78	188,3
2000	8	32,6	22	26,3	82	224,9
2000	9	32,4	22,3	26,3	87	173,2
2000	10	30,3	18,9	23,8	82	118

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
-----	-----	----------	----------	-------	--------	-----------------------	-----------

2001							

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2001	4	32,5	18,6	24,8	71	124,2	8,8
2001	5	30,9	19,7	24,6	76	123,4	6,2
2001	6	33,4	21,4	26,7	78	203	8,5
2001	7	32,8	21,5	26,6	80	165,3	7,3
2001	8	33,7	22,6	27	82	160	7,5
2001	9	32,2	21,9	26	83	223,5	6,7
2001	10	30,5	21,9	25,5	84	120,4	6,6
2001	11	28,6	16,2	21,7	81	157	7,4

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2002	5	33	20,9	26,3	76	284,2	8,1
2002	6	31,8	22,1	26,5	82	332,3	6,6
2002	7	33,5	22,1	27,1	80	394	9,1
2002	8	33,2	21,6	26,5	83	234,2	8
2002	9	31,6	22,1	26,3	86	369,4	6,6
2002	10	31,8	21,1	25,9	84	165,2	8,2

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2003	3	31,5	19,1	24,7	78	205,8	8,5
2003	4	31,3	17,2	23,8	72	113,2	9,1
2003	5	32,2	22,1	26,3	79	225,6	8,4
2003	6	32,6	22,2	26,4	81	338,8	7
2003	7	33,1	22,5	26,8	81	297	8,2
2003	8	33,2	22,9	26,8	83	163,6	6,9
2003	9	32,8	22,6	26,4	85	150,1	7,3

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2004	5	34,3	22,2	26,9	77	141,9	0
2004	6	32,9	21,9	26,3	81	223,3	0
2004	7	33,2	22,2	26,9	82	286,4	0

2004	8	32,6	21,9	26,6	82	121,1	0
------	---	------	------	------	----	-------	---

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2005	3	31,2	16,5	23,5	70	29,1	0
2005	4	32,5	17,6	24,5	63	34,7	0
2005	5	33,9	21,1	26,5	69	24,5	0
2005	6	32,5	23,3	26,8	81	298,5	0
2005	7	33,7	23,3	27,5	79	398,2	0
2005	8	33,6	22,9	27,3	82	203,8	0
2005	9	33	22,2	26,8	82	195	0
2005	10	30,2	21,5	25,2	85	269,4	0

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2006	5	33,2	19,6	25,7	71	144,4	0

2006	6	32,2	22,2	26,6	80	121,8	0
2006	7	33,2	22,3	26,5	83	196,1	0
2006	8	33,6	22,5	26,9	82	153,1	0
2006	9	33,3	22,4	26,6	83	396,2	0

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2007	3	30,9	17,4	23,5	69	2,2	0
2007	4	32,1	18	24,5	67	60,2	0
2007	5	32,3	20,5	25,3	75	182,3	0
2007	6	32,1	22,6	26,3	82	347,8	0
2007	7	33,9	22,6	27,2	79	330,3	0
2007	8	33,2	22,7	27	82	164	0
2007	9	32,7	22,1	26,1	84	252	0
2007	10	30,9	22,7	25,8	87	354,1	0

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2010	3	28	14	20,7	69	15,9	0
2010	4	31,2	18,4	24,4	69	49,9	0
2010	5	33,2	21,9	26,8	74	167,8	0
2010	6	34,7	23,7	28,4	74	52	0
2010	7	32,9	23,2	27,1	82	178,9	0
2010	8	32,9	23,2	27,1	83	290,9	0
2010	9	32,3	22,9	26,6	84	202,1	0

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2011	3	30	15,7	22,4	69	97,4	0
2011	4	33,5	19,2	25,7	68	32,8	0
2011	5	33,3	19,7	25,7	71	137,9	0
2011	6	32,3	22,4	26,6	80	306,8	0
2011	7	33,2	22,6	27,1	80	170,1	0
2011	8	33,9	22,8	27,3	80	184,9	0
2011	9	32,7	22,2	26,4	83	110,1	0

2011	10	30,3	21,9	25,2	85	180,8	0
------	----	------	------	------	----	-------	---

Valores extremos bajos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz

Valores extremos altos

Año	Mes	Tmax med	Tmin med	T med	Hr med	lluvia mensual (mm/h)	Horas luz
2012	3	31	18	23,8	70	61,2	0
2012	4	31,2	18,6	24,5	69	104	0
2012	5	31,1	21,6	25,7	79	402,7	0

Anexo 2. Datos de lluvia (período 2016-2019) aportados por el Pluviómetro ubicado en la CPA “Mártires de Barbados”

Meses	2016	2017	2018	2019
Enero	44,5	4,5	48,9	7,5
Febrero	3,5	46,8	11,3	54,8
Marzo	69,7	6	10	19,4
Abril	21,7	64,5	46,7	46,6
Mayo	71,3	76,8	568,9	98,2
Junio	86,8	131,6	47,3	21,1
Julio	108,6	144,4	149	101,1
Agosto	149,2	90,7	203,8	97
Septiembre	61,3	447,8	100	188,8
Octubre	110,5	232,1	137,5	301,6
Noviembre		177,2	19,3	
Diciembre		105	61	
Total	727,1	1527,4	1403,7	936,1

Anexo 3. Agenda de trabajo para el desarrollo del Taller con productores de la CPA “Mártires de Barbados”

Objetivo del taller: identificar el nivel de conocimientos existente en la CPA “Mártires de Barbados”, acerca de la erosión de suelos y sus diferentes tipos, principales causas, medidas para mitigar su impacto negativo, áreas afectadas por la erosión de suelos en la cooperativa y el empleo de buenas prácticas agrícolas para mitigar la erosión de suelos, en dicha unidad agrícola

Temas abordados

-Sobre concepto de erosión de suelos y diferentes tipos de erosión

-Sobre las principales causas de la erosión de los suelos

Sobre las medidas para mitigar el impacto negativo de la erosión de suelos

Sobre las principales áreas afectadas por la erosión de suelos en la cooperativa

Sobre estudios de suelos para conocer su calidad y presencia de procesos de degradación como la erosión en la cooperativa

Sobre el empleo de buenas prácticas agrícolas para mitigar la erosión de suelos

Criterios de evaluación empleados para calificar los planteamientos emitidos

PERTINENCIA. Los elementos asumidos para la propuesta son oportunos e inciden sobre los aspectos básicos o fundamentales que contribuyan a la mitigación de procesos de degradación de suelo (erosión).

COHERENCIA. Existe coherencia entre los criterios establecidos para la propuesta de programa frente a la erosión.

FACTIBILIDAD. La propuesta es fácil de aplicar, tanto por parte de productores como por personal especializado.

Rango de valores por categorías evaluativas

1= **No adecuado**, el participante no conoce nada respecto a la propuesta de alternativa para frenar la erosión;

2= **Poco adecuado**, el participante conoce algo respecto a la propuesta;

3= **Regular**, el participante ha recibido alguna capacitación en temas relativos a propuesta;

4= **Adecuado**, el participante ha sido invitado a evaluaciones de propuestas de alternativas para frenar la erosión

5= **Muy adecuado**, el participante ha sido invitado en la implementación de propuestas de alternativas para frenar la erosión

**Anexo 4. Encuesta a productores directos a la producción en la CPA
“Mártires de Barbados”**

No	Temas a evaluar	(1) Si	(2) No
1	Considera usted que el suelo de la CPA sea fértil.		
2	Considera usted que los rendimientos de los cultivos han disminuido en el tiempo.		
3	Considera que los fenómenos hidrometeorológicos extremos han tenido influencia en la capacidad productiva del suelo.		
4	Considera correcto el volumen de agua entregada por las máquinas de riego según el cultivo establecido y la etapa o fase del ciclo de vida del mismo.		
5	Conoce Ud como debe trazarse el sentido de los campos para realizar la siembra.		
6	Sabe usted lo que es la erosión en los suelos.		
7	¿Conoce cuáles son y dónde están, las principales áreas con erosión del suelo.		
8	¿Conoce Ud cuáles pueden ser las principales causas que provocan erosión de suelo?		
9	¿Tiene conocimiento de cuáles son las medidas o acciones que pudieran aplicarse para combatir a la erosión de suelo?		
10	Ha podido conocer si existen cambios de coloración en el suelo.		
11	Conoce Ud por qué se pueden producir escorrentías en los campos bajo cultivo.		
12	Tiene conocimiento acerca de cuáles medidas o acciones pudieran efectuarse para evitar las escorrentías		
13	Conoce Ud a qué se le llama surcos de erosión		
14	Ha observado en alguna ocasión sedimentación de las partículas de suelo		
15	Conoce Ud que son las barreras muertas		
16	Conoce Ud que son las barreras vivas		
17	Considera usted que las labores de suelo que se realizan en la CPA pueden servir para disminuir las pérdidas de suelo por erosión.		
18	Conoce Ud a qué se le llama cárcavas en el suelo y que estas pueden provocarse por inundaciones.		
19	Conoce Ud si se han aplicado residuales o abonos orgánicos con frecuencia en la CPA con el fin de incrementar la fertilidad del suelo.		
20	Considera Ud que los suelos de la CPA retienen la humedad		
21	Considera Ud que los problemas del suelo pueden causar daños en el desarrollo vegetativo del cultivo haciéndolos por ejemplo que crezcan menos, que no tengan una coloración verde muy intensa, que varíe el número de flores y frutos por años, entre otros.		

Anexo 5 Guía para la entrevista a directivos de la CPA “Mártires de Barbados” y a funcionarios de la ANAP municipal y de la Delegación Municipal MINAG

Interrogantes	SI	NO	NO SE
1-Sobre si conoce el concepto de erosión de suelos			
2-Sobre si conoce llas principales causas que provocan la erosión de los suelos			
3-Cuál es su conocimiento acerca de las medidas que deben aplicarse para enfrentar el proceso de erosión en suelos de uso agrícola			
4-Conoce cuáles son y donde están ubicadas, las principales áreas afectadas por erosión en la CPA			
5-Sobre si conoce si en la CPA se han realizado estudios para conocer la calidad del suelo y ocurrencia de procesos de degradación			
6-Conoce si se están aplicando buenas prácticas agrícolas para mitigar la erosión del suelo y para el manejo del agua en la CPA			

Anexo 6. Test de conocimientos aplicada para seleccionar el grupo de expertos de la investigación

Objetivo: identificar las competencias entre los encuestados para su inclusión en el grupo de expertos de la presente investigación.

Estimado/a productor/a:

Ud, ha sido seleccionado para integrar el grupo de expertos que participará con sus criterios en la evaluación de resultados de la presente investigación, pero para tal fin, se precisa evaluar sus competencias en los temas que aparecen a continuación, por lo que se requiere que ud califique su nivel de competencia al respecto con la aplicación de la escala evaluativa que aparece seguidamente y marque con una equis (X) el valor numérico que le otorga al tema según su competencia.

Escala evaluativa

NO CONOCE (NC)	ALGÚN CONOCIMIENTO (AC)	CONOCIMIENTO MEDIO (CM)	CONOCIMIENTO ALTO (CA)	CONOCIMIENTO MUY ALTO (CMA)
No ha tenido información sobre el tema.	Ha tenido información a través de los medios masivos de información y charlas técnicas	Ha recibido charlas técnicas y cursos en la Escuela de Capacitación de la Agricultura.	Ha recibido cursos de capacitación, participación en talleres y otros eventos científico técnicos.	Ha recibido formación académica universitaria, participación en eventos científico técnicos y de intercambio con otros productores a diferentes niveles, ha participado en actividades investigativas de proyectos. Además, se actualiza a través de diferentes vías.
1	2	3	4	5

ITEMs A EVALUAR	ESCALA EVALUATIVA				
	(NC) 1	(AC) 2	(CM) 3	(CA) 4	(CMA) 5
1-Principales causas del deterioro de los recursos naturales involucrados en la producción agrícola					
2-Uso de las tierras de alto riesgo para la agricultura					
3-Uso de prácticas inadecuadas en el manejo de suelos y aguas en agricultura.					
4-Influencia directa o indirecta del entorno socio-económico, como la tenencia de la tierra, en la ocurrencia de los procesos erosivos.					
5-Si considera a la erosión como la forma más importante de degradación de los suelos en el país					
6-Manifiesta conocimiento acerca del alto grado de vulnerabilidad ambiental de gran parte del territorio nacional, evidenciado por procesos geodinámicos, inundaciones, procesos erosivos generalizados, ciclones tropicales, sequías y otros asociados a los ecosistemas costeros, así como la infraestructura económica existente en la actualidad.					
7- Consideraciones favorables sobre la importancia de contar con herramientas que permitan hacer evaluaciones del impacto de las tecnologías para el manejo de los recursos naturales.					
8- Conocimiento sobre la evaluación de propuestas para el desarrollo de tecnologías y trabajos de investigación, a corto, mediano y largo plazo, que permitan generar y/o seleccionar tecnologías apropiadas para las condiciones de vulnerabilidad ambiental prevalecientes en el país.					

I 1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	2	3	3	4	4	3	2	5	4	4
I 2	2	3	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	4	3	3	3	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3
I 3	3	3	3	3	3	1	3	1	2	2	3	3	3	3	3	2	1	1	1	2	3	2	3	3	3	2	4	3	3	
I 4	4	4	4	3	3	1	3	1	2	3	3	2	2	4	3	3	2	1	1	1	3	3	2	3	4	4	3	4	4	4
I 5	4	4	4	4	4	3	3	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
I 6	3	3	3	2	2	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
I 7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
I 8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	
2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3
7	8	8	5	5	7	1	8	1	5	6	6	9	9	8	9	5	1	9	6	2	4	4	8	0	9	5	2	0	0	

Encuestados no considerados para integrar el grupo: 6-8-19 y 20

Por lo que el grupo de expertos quedó conformado por 26 personas, de ellas el 40 % son productores vinculados de forma directa en la producción agrícola de la CPA.

Frecuencia de la puntuación por ITEMS

ITEMs A EVALUAR	(NC) 1	(AC) 2	(CM) 3	(CA) 4	(CMA) 5
1-Principales causas del deterioro de los recursos naturales involucrados en la producción agrícola	1	7	13	8	1
2-Uso de las tierras de alto riesgo para la agricultura	6	12	11	1	0
3-Uso de prácticas inadecuadas en el manejo de suelos y aguas en agricultura.	5	6	18	1	0
4-Influencia directa o indirecta del entorno socio-económico, como la tenencia de la tierra, en la ocurrencia de los procesos erosivos.	5	5	11	9	0
5-Si considera a la erosión como la forma más importante de degradación de los suelos en el país	0	2	8	18	2
6-Manifiesta conocimiento acerca del alto grado de vulnerabilidad ambiental de gran parte del territorio nacional, evidenciado por procesos geodinámicos, inundaciones, procesos erosivos generalizados, ciclones tropicales, sequías y otros asociados a los ecosistemas costeros, así como la infraestructura económica existente en la actualidad.	2	5	9	14	0
7- Consideraciones favorables sobre la importancia de contar con herramientas que permitan hacer evaluaciones del impacto de las tecnologías para el manejo de los recursos naturales.	0	1	2	27	0
8- Conocimiento sobre la evaluación de propuestas para el desarrollo de tecnologías y trabajos de investigación, a corto, mediano y largo plazo, que permitan generar y/o seleccionar tecnologías apropiadas para las condiciones de vulnerabilidad ambiental prevalecientes en el país.	0	0	0	30	0

Cálculo del coeficiente de concordancia

$$Cc = (1 - V_n/V_t) * 100 = (1 - 30/240) * 100$$

Donde:

Cc- Coeficiente de concordancia.

Vn- Cantidad de encuestados en contra del criterio ponderado.

Vt- Cantidad total de encuestados.

Y se estableció como condiciones:

Si: $Cc \geq 60 \%$, se acepta la concordancia

$Cc < 60 \%$, se elimina el criterio por baja concordancia.

Items 1-3-4: calificados 3

Item 2: calificados: 2-3

Items 5-6-7-8:

calificados 4

Temas (ITEMs) con mayores puntuaciones (4) verde claro:

5-Si considera a la erosión como la forma más importante de degradación de los suelos en el país
--

6-Manifiesta conocimiento acerca del alto grado de vulnerabilidad ambiental de gran parte del territorio nacional, evidenciado por procesos geodinámicos, inundaciones, procesos erosivos generalizados, ciclones tropicales, sequías y otros asociados a los ecosistemas costeros, así como la infraestructura económica existente en la actualidad.

7- Consideraciones favorables sobre la importancia de contar con herramientas que permitan hacer evaluaciones del impacto de las tecnologías para el manejo de los recursos naturales.
--

8- Conocimiento sobre la evaluación de propuestas para el desarrollo de tecnologías y trabajos de investigación, a corto, mediano y largo plazo, que permitan generar y/o seleccionar tecnologías apropiadas para las condiciones de vulnerabilidad ambiental prevalecientes en el país.
--

Temas (ITEMs) con puntuaciones (1 rojo y 2 rosado):

1-Principales causas del deterioro de los recursos naturales involucrados en la producción agrícola
3-Uso de prácticas inadecuadas en el manejo de suelos y aguas en agricultura.
4-Influencia directa o indirecta del entorno socio-económico, como la tenencia de la tierra, en la ocurrencia de los procesos erosivos.

Item 2: calificados: 2-3

2-Uso de las tierras de alto riesgo para la agricultura

Por ciento del total de puntos obtenidos (30) por temas

ITEMs A EVALUAR	(NC) 1	(AC) 2	(CM) 3	(CA) 4	(CMA) 5
1-Principales causas del deterioro de los recursos naturales involucrados en la producción agrícola	3,3	23,3	43,3	26,7	3,3
2-Uso de las tierras de alto riesgo para la agricultura	20,0	40,0	36,6	3,3	0
3-Uso de prácticas inadecuadas en el manejo de suelos y aguas en agricultura.	16,7	20,0	60,0	3,3	0
4-Influencia directa o indirecta del entorno socio-económico, como la tenencia de la tierra, en la ocurrencia de los procesos erosivos.	16,7	16,7	36,6	30,0	0
5-Si considera a la erosión como la forma más importante de degradación de los suelos en el país	0	6,67	26,6	60,0	6,67
6-Manifiesta conocimiento acerca del alto grado de vulnerabilidad ambiental de gran parte del territorio nacional, evidenciado por procesos geodinámicos, inundaciones, procesos erosivos generalizados, ciclones tropicales, sequías y otros asociados a los ecosistemas costeros, así como la infraestructura económica existente en la actualidad.	6,67	16,7	30,0	46,7	0
7- Consideraciones favorables sobre la importancia de contar con herramientas que permitan hacer evaluaciones del impacto de	0	3,3	6,67	90,0	0

las tecnologías para el manejo de los recursos naturales.					
8- Conocimiento sobre la evaluación de propuestas para el desarrollo de tecnologías y trabajos de investigación, a corto, mediano y largo plazo, que permitan generar y/o seleccionar tecnologías apropiadas para las condiciones de vulnerabilidad ambiental prevaletientes en el país.	0	0	0	100,0	0

Anexo 7. Determinación de las pérdidas de suelo

Sitio: CPA Mártires de Barbados Máquina 6

Fecha

Medición	Ancho (cm)	Profundid (cm)
1	1	1
2	3	2
3	2	1
4	3	1
5	3	2
6	2	2,5
7	2	1
8	1	2
9	2	1
10	2	1
Suma de las mediciones	21	14,5
Promedio	Ancho 2,1	Profundidad 1,45
Largo del surco:(m) 1,5		
Zona de captación:(m ²) 5		

Pasos	Cárculos
1	Promedio del ancho 2,1 cm= 0,021 m Promedio de la profundidad 1,45 cm= 0,145 m
2	Cárculo del área promedio de un perfil transversal $\frac{1}{2}$ x Ancho 0,021m x Profundidad 0,145m = Área transversal 0,00152 m ²
3	Cárculo del volumen de suelo perdido, asumiendo que el surco tiene 1,5metros de largo Área transversal = 0,00152 m ² x largo 1,5 m = Volúmen perdido 0,00228 m ³
4	Conversion del volúmen perdido a una media del volúmen por cada metro cuadrado de zona de captación Volúmen perdido = 0,00228 m ³ /zona de captación 5 m ² = Pérdida de suelo 0,000456 m ³ /m ²

5	Conversión del volúmen por metros cuadrado a toneladas por hectárea Pérdida de suelo $0,000456 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{densidad aparente } \text{t}/\text{m}^3 \times 1,3 \times 10\ 000 = \text{Pérdida de suelo } 5.9 \text{ t/ha}$
---	---

Anexo 8. Medición de infiltración de agua

Un factor esencial del potencial para cultivos o pastoreo del suelo es la velocidad y la cantidad de agua que puede infiltrarse a través de la superficie o dentro del perfil del suelo. El siguiente método fue ingeniado por el Dr Freeman Cook de CSIRO, Australia. El objetivo era crear un método simple para una estimación rápida de la conductividad hidráulica del suelo. Ello requería simplicidad, tanto en equipo como en el método de campo. Aunque el método es operativamente simple, basado firmemente en principios físicos fundamentales del suelo, probados y aceptados.

Este método considera dos escenarios posibles:

i) En el primer escenario, se hunde un anillo una distancia corta (unos pocos milímetros) en el suelo (esto facilita el flujo tridimensional – el agua fluye tanto vertical como horizontalmente), y

ii) en el segundo, el anillo se hunde una profundidad considerable (mayor al diámetro del anillo), de forma que el flujo sea unidimensional (el agua fluya verticalmente).

Con ambos métodos la superficie del suelo debe estar húmeda para reducir el componente inicial de la conductividad hidráulica caracterizado por ser una infiltración rápida e inconstante (en la que el suelo absorbe el agua principalmente debido a fuerzas capilares en vez de la gravedad). Esto reduce errores en el método.

Cuando sea posible, siempre intente usar el método tridimensional (es decir el [i]) ya que los resultados se obtienen más rápido y el factor del tiempo es más sensible a la conductividad hidráulica. El método unidimensional es más apropiado cuando el agrietamiento o la estructura del suelo dificultan sellar el anillo en el suelo sin que ocurra filtración.

El equipo requerido es un anillo (de metal o PVC con un extremo afilado) de 100 (largo) por 100 mm (diámetro), un recipiente de 50 mm³ de agua y un reloj.

El método consiste en, rápidamente (pero intentando minimizar la altura desde la que se vierte y la velocidad con la que el agua pega contra la superficie), verter el

agua sobre el suelo húmedo dentro del anillo. Tomar el tiempo que tarda el agua en desaparecer en el suelo (infiltrarse).

Las **Tablas 4 y 5** presentan información sobre la infiltración del agua para los escenarios tridimensional y unidimensional, respectivamente.

REGISTRE si se ha usado una medición tridimensional o unidimensional, y si la velocidad de infiltración fue “rápida”, “media” o “lenta” usando el sistema de puntajes.

Puntajes (a partir de Tablas 4 y 5):

1. Velocidad Rápida (puntaje = 2)
2. Velocidad Media (puntaje = 1)
3. Velocidad Lenta (puntaje = 0)

Tabla 4. Estimación simple de K a base del flujo tridimensional.

Tiempo para que 50 mm^3 de agua desaparezcan de un anillo de 50 mm de radio.	Conductividad hidráulica - K (mm/hr)	EVS Puntaje
< 10 min	> 36 (rápido)	2
>10 min, < 2 hr	> 3.6 (medio)	1
> 2 hr	< 1 (muy lento)	0

Tabla 5. Estimación simple de K a base del flujo unidimensional.

Tiempo para que 50 mm^3 de agua desaparezcan de un anillo de 50 mm de radio.	Conductividad hidráulica - K (mm/hr)	EVS Puntaje
< 30 min	> 36 (rápido)	2
>30 min, < 10 hr	> 3.6 (medio)	1
> 10 hr	< 1 (muy lento)	0

Evaluación realizada y procesamiento de datos

Anexo 9. Mapa de suelo



Anexo 10. Medición de Sistema de manejo

Cuadrante de la máquina	No de microparcela	No de planta	Cultivo establecido	Etapa fenológica	Grado de desarrollo del cultivo	Altura promedio (m)	Superficie que cubre el follaje (m).
I	1	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
I	2	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
I	3	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
I	4	P1					
		P2					

		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
I	5	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					

Cuadrante de la máquina	No de microparcela	No de planta	Cultivo establecido	Etapas fenológica	Grado de desarrollo del cultivo	Altura promedio (m)	Superficie que cubre el follaje (m).
II	1	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
II	2	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
II	3	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
II	4	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					

		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
II	5	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					

Cuadrante de la máquina	No de microparcela	No de planta	Cultivo establecido	Etapas fenológica	Grado de desarrollo del cultivo	Altura promedio (m)	Superficie que cubre el follaje (m).
III	1	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
III	2	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
III	3	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
III	4	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					

		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
III	5	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					

Cuadrante de la máquina	No de microparcela	No de planta	Cultivo establecido	Etapas fenológica	Grado de desarrollo del cultivo	Altura promedio (m)	Superficie que cubre el follaje (m).
IV	1	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
IV	2	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					
		P9					
		P10					
IV	3	P1					
		P2					
		P3					
		P4					
		P5					
		P6					
		P7					
		P8					

Anexo 11. Contenido del Programa resultado de la investigación

CONTENIDO DEL PROGRAMA

Presentación: debe contener información acerca de la problemática de la erosión a nivel de escala local, antecedentes y objetivos que se persiguen con el programa. Además, se declaran las instituciones participantes ya sea en asesoramiento, capacitación y sociedades, haciendo énfasis en las funciones a cumplir por cada una.

Representación gráfica de la estructuración de los componentes del programa de alternativas y mejoras que se propone para enfrentar la erosión



Parte 1. PRINCIPALES ASPECTOS CONCEPTUALES que se requieren para lograr el manejo integrado de suelos, agua y cultivos para mitigar la erosión.

Parte 2. GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

Caracterización de la unidad agrícola en función de procesos de degradación de suelos como la erosión:

2.1. Caracterización físico-geográfica: localización, suelos, usos de suelos, clima, vegetación, fauna, infraestructuras, otros.

2.2. Caracterización socio-económica-productiva: fuerza de trabajo, población económicamente activa existente en zonas aledañas, servicios públicos, equipamiento y tecnologías agrícolas actuales y perspectivas (con énfasis en sistemas de labranza y de riego), tenencia de la tierra, destinos de la producción, otros.

Ambas caracterizaciones tienen como objetivos:

- Identificar los problemas de erosión y sus causas principales.
- Conocer el nivel de conocimientos existente en la unidad agrícola para el establecimiento de las estrategias de capacitación/ formación con los centros generadores de conocimientos.
- Establecer las estrategias para el intercambio entre productores líderes, investigadores, asesores y otros actores que aporten experiencias en el manejo de la erosión de suelos.

2.3. Diagnóstico del riesgo a la erosión. Se analiza la situación de los suelos en cuanto a las características que le hacen vulnerable a este proceso, así como, el uso y manejo que se lleva a cabo no sólo a este recurso, sino también al agua, la vegetación nativa y la biodiversidad. Se evalúa el comportamiento de los actores sociales a nivel local frente a este proceso.

Se determinan indicadores para la evaluación y monitoreo en el tiempo y espacio.

2.4. Planificación de acciones de prevención y control de la erosión. Se identifican las potencialidades de alternativas de mejoras que a través de la planificación permiten realizar acciones preventivas y de control de la erosión.

2.4.1. Acciones para la prevención de la erosión

-Laboreo de conservación: constituye el mantenimiento de una cantidad de residuos del cultivo anterior (entre el 20 y el 30%) sobre la superficie del terreno y el empleo de herbicidas para el control de adventicias de baja toxicidad. Con este laboreo se reduce el número de labores y la permanencia de la maquinaria en los campos, el consumo de combustible y la emisión asociada al uso de maquinaria, lo que conlleva a mitigar el impacto negativo que esto representa como contaminante ambiental.

-Rotaciones de cultivo: herramienta eficaz para el aprovechamiento del suelo de forma sustentable, además de contribuir a la disminución de la necesidad de fertilizantes y fitosanitarios para combatir enfermedades.

- **Alternativas de cultivo:** la sucesión de los cultivos en el tiempo (rotaciones) y en el espacio (alternativas), debe realizarse con criterios que ayuden al ahorro de agua, al aumento de la fertilidad y a equilibrar el balance húmico del suelo. El principio fundamental para diseñar una buena rotación es que los cultivos sucesivos, tengan tipos de vegetación, sistemas radiculares y necesidades nutritivas diferentes, de tal forma que, la sucesión en el tiempo de dos cultivos cuyas raíces exploren capas de suelo a distintas profundidades, permite aprovechar mejor los nutrientes y en algunos casos, hasta disminuir el lavado del nitrógeno y su acumulación en los acuíferos. Las alternativas que incluyen leguminosas enriquecen el suelo en nitrógeno, que puede ser aprovechado por el cultivo siguiente, reduciéndose así, de fertilizantes minerales nitrogenados.

-Tratamiento de los rastrojos y restos de poda. De esta forma se evitan los efectos negativos de la quema, se contribuye a recuperar la fertilidad y conservar el suelo y en paralelo se mejora la calidad del aire al reducirse las emisiones.

- **Utilización racional de fertilizantes.** Con la reducción del uso de abonos químicos, se recuperan prácticas de fertilización tradicionales, que en general resultan menos contaminantes, así como, se sistematiza el empleo de productos alternativos como residuos de cosechas, estiércoles o lodos previamente tratados, entre otros.

-Uso racional de los productos fitosanitarios y plaguicidas. En el caso de estas existen alternativas para reducir o eliminar sus efectos negativos sobre el ecosistema agrario y la calidad de los alimentos, e incluso mejorar la resistencia natural de los cultivos.

- Gestión adecuada del riego. De tal forma, que se reduzca al máximo la demanda de agua, para que este consumo de agua en la agricultura se reduzca, se precisa reparar y mantener en buen estado las infraestructuras y los sistemas de distribución de este recurso, además, lograr que en las explotaciones de regadío se generalicen los sistemas de riego de bajo consumo.

-Mantenimiento de maquinaria. La misma con excesivas horas de funcionamiento o en mal estado de conservación, es poco eficiente desde el punto de vista energético, lo que repercute negativamente en el beneficio de la explotación.

-Conservación de sotos, riberas y arbolado disperso. Los sotos y riberas son reservas de especies de vegetación autóctona y desempeñan funciones esenciales para el ecosistema fluvial y para los sistemas agrarios, por lo que su conservación genera numerosos beneficios en el entorno en que se ubican. Entre otros efectos: reducen la erosión del suelo por la presencia de una cubierta vegetal continua, que además actúa como filtros para los efluentes de campos contiguos, reteniendo el exceso de nutrientes. Esta barrera vegetal, también protege las márgenes cultivadas de los ríos contra las avenidas y tienen buena capacidad para mantener la humedad, por lo que influye en la modulación del clima local.

-Protección del paisaje. Compensa a los agricultores por mantener elementos de singular valor paisajístico y conservar el arbolado no productivo de la explotación. Los compromisos de esta medida, comprenden el mantenimiento de la cubierta vegetal de los setos y bosquetes, o la conservación en buenas condiciones de los pies de los árboles dispersos, entre otros.

-Desarrollo de prácticas relacionadas con la recuperación de los bosques. Contribuyen a restaurar tipos de hábitat que están en regresión, a conservar el suelo y a controlar la erosión y mejorar los recursos hídricos.

-Planificación de actividades formativas. Sirven para fomentar prácticas agrarias sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, que favorezcan la reconversión hacia una agricultura más sostenible y que mejore la cualificación y la concienciación ambiental del sector en la unidad agrícola.

2.4.2. Prácticas para el control de la erosión

-Prácticas agronómicas. Se refieren a las prácticas de manejo del suelo, que tiendan a reducir la densidad aparente, mejorar el régimen hídrico, aumentando su capacidad de infiltración y de retención de humedad y por ende, disminuyendo la escorrentía por la superficie del suelo. Entre estas destacan: subsolación, laboreo de conservación, labranza cero, aplicación de estiércoles, entre otras.

-Prácticas vegetativas. Consideran el desarrollo de plantas o cultivos o el manejo de la vegetación autóctona, con el fin de mejorar la capacidad productiva de los suelos y de contribuir a frenar la erosión, aumentando la capacidad de infiltración y retención de humedad y colateralmente, disminuir la escorrentía superficial de la lámina de agua provocada por fuertes lluvias, y de esta forma, contribuyen a disminuir la vulnerabilidad del suelo frente a la erosión. Son ellas: cultivos en fajas, policultivo o cultivos asociados y abonos verdes.

-Prácticas mecánicas. Son aquellas obras que se realizan empleando implementos de la maquinaria agrícola, aditamentos especiales y mano de obra, con estas prácticas, se realizan movimientos de tierras enfocados a la disminución del escurrimiento superficial, incrementar la velocidad de infiltración y reducir la erosión en áreas con pendiente de ondulado. Destacan entre ellas: siembra en contorno, terrazas de base angosta, zanjas trincheras, dren interceptor, otras.

Para llevar a cabo estas prácticas se requiere de la selección de tecnologías y de las prácticas de conservación con mayores posibilidades de éxitos en el lugar.

Parte 3. ACCIONES DE SEGUIMIENTO, EVALUACIÓN Y RETROALIMENTACIÓN PARA ENFRENTAR PROCESOS DE EROSIÓN

Descripción de medidas por componentes

No	Actividad	Atributos ambientales impactados	Medida de mitigación, mejora o alternativa
1	Preparación de suelos	suelo, atmósfera, biodiversidad, agua	Reducir al mínimo la remoción del suelo y el empleo de la maquinaria, con énfasis en los equipos pesados. Capacitar a los productores acerca de la forma de realizar las labores agrícolas, beneficios y aportes.-Prohibir la quema de materiales y residuos de cosecha a cielo abierto.
2	Uso de maquinarias y equipos	suelo y atmósfera	<p>Limitar la construcción de caminos a los estrictamente necesarios y construirlos teniendo en consideración las condiciones topográficas del lugar. En la construcción de vías de acceso, tener en consideración que, al decapar la parte de suelo comprendido como capa vegetal, este debe ser cortado a una profundidad entre 20-40 cm y almacenarlo en condiciones donde no se produzcan pérdidas ni se contamine con diferentes materiales. Dar mantenimiento adecuado y sistemático a las vialidades internas para evitar arrastres, la contaminación de aguas y atrasos en el traslado de cosecha, así como, del personal para realizar las atenciones culturales y otros.</p> <p>La maquinaria y equipos a utilizar deben contar con un buen estado técnico para evitar derrames de combustible y emanaciones de gases innecesarios que provoquen contaminación a los recursos naturales del medio ambiente.</p> <p>Evitar el desarrollo de las labores de mantenimientos dentro del área de trabajo en el campo. En áreas de trabajo cercanos a los asentamientos poblacionales, establecer horarios de trabajo para el uso de la maquinaria, de modo que los pobladores no sean afectados por el ruido o emanaciones de gases y polvo. Implementar un programa</p>

			de mantenimiento preventivo de la maquinaria para contribuir a minimizar el nivel de ruido, las emanaciones de combustible y gases al medio; así como, se garantiza la eficiencia de trabajo de la maquinaria.
No	Actividad	Atributos ambientales impactados	Medida de mitigación, mejora o alternativa
3	Nivelación	suelo, atmósfera, biodiversidad, agua	Relleno de espacios, uso de tecnologías apropiadas para la nivelación del terreno (corrección del relieve).
4	Creación y restitución de fajas hidrorreguladoras	suelo, atmósfera, biodiversidad, agua	Realizar acciones de rescate de especies de flora silvestre existente en la cooperativa, evitando así la pérdida de germoplasma. Las acciones de rescate pueden estar dadas por: colecta de semillas, estacas, plantas completas evitando dañar las raíces y tener dispuesto áreas para el desarrollo de estas en cepellones, viveros, etc. Reforestar las áreas destinadas a las fajas hidrorreguladoras para evitar la erosión de suelo, con el empleo de

			especies arbóreas nativas y en vez de pastos, se recomienda el uso de especies rastreras de bajo consumo de agua y con buena adaptabilidad a las condiciones ambientales del lugar, sobretodo, las de aerosol salino por la cercanía al litoral costero.
--	--	--	--

Estas acciones que se proponen se diseñaron a modo de ejemplo, pero para lograr su seguimiento demandan de la identificación y construcción de indicadores específicos del lugar donde será implementado el programa.