



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniera Agrónoma

Título: Evaluación de indicadores ambientales en el agrosistema de montaña El Mamey perteneciente al municipio de Cumanayagua, provincia Cienfuegos

Autora: Milaisy Castellón Soris

Tutora: MsC. Arianny Pérez Fernández

Curso 2023

Cumanayagua, 1 de noviembre de 2023.

"Año 65 de la Revolución"

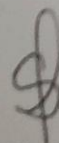
La Delegación Municipal de la Agricultura en Cumanayagua reconoce el trabajo realizado por la estudiante de 6to año de la carrera de Agronomía Milaisy Castellón Sorís que en coordinación con la Universidad Carlos Rafael Rodríguez ha desarrollado en nuestro territorio.

La estudiante realizó una investigación no experimental titulada: "Evaluación de indicadores ambientales en el agrosistema de montaña El Mamey perteneciente al municipio de Cumanayagua, provincia Cienfuegos" durante el periodo de enero a octubre del 2023.

Con el objetivo de evaluar indicadores ambientales en el agrosistema de montaña. Para lo cual se caracterizó el agrosistema y se diagnosticaron los principales indicadores ambientales que permitió identificar los más afectados.

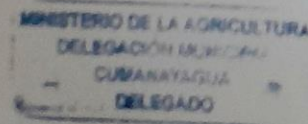
Se debe considerar los resultados de la evaluación de los indicadores ambientales para proyectar futuros programas de desarrollo en el agrosistema. Además reconocer la vigencia e importancia de este trabajo para ser extendido a diferentes agrosistemas de la montaña.

Y para que así conste firma la presente:



Saddys Enriquez Ventura

Delegada Municipal de la Agricultura Cumanayagua



Resumen

El estudio se desarrolló en el agrosistema de montaña El Mamey, municipio de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos sobre suelos tipo Ferralíticos Rojos, en el período comprendido desde enero a octubre del 2023, con el objetivo de evaluar indicadores ambientales en el referido agrosistema de montaña. Se utilizó un diseño no experimental, para medir los indicadores al tener en cuenta la referencia de indicadores de eficiencia en cada variable analizada. Se realizaron entrevistas y encuestas a directivos, técnicos y productores, revisión de documentos, la base de datos económica y productiva, observación directa en el terreno, se aplicó el cálculo de las variables, con la captura de información primaria y secundaria. Se asumió un sistema conceptual de indicadores ambientales que aplican para los agrosistemas de montaña cubanos, atendiendo a las características contextuales y espaciales del agrosistema objeto de estudio. Se demostró la importancia de tener indicadores ambientales para los agrosistemas de montaña en Cuba, los cuales requieren de un conjunto de variables integrales que pueden ser específicos de cada lugar evaluado. Se evaluaron los principales indicadores ambientales a partir de la selección realizada, determinando que los indicadores más afectados son la erosión, superficie de suelo con riesgo de desertificación y la calidad de las aguas. Se presenta la evaluación general del agrosistema con un 62, 5% de eficiencia, considerado medianamente frágil para accionar en aras de aplicar una acertada política para el aprovechamiento de los recursos de manera consecuente con medidas acertadas espacial y temporalmente.

Palabras claves: medioambiente, erosión, desertificación, contaminación

Abstract

The study was carried out in the El Mamey mountain agrosystem, municipality of Cumanayagua, province of Cienfuegos on Red Ferralitic soils, in the period from January to October 2023, with the objective of evaluating environmental indicators in the aforementioned mountain agrosystem. A non-experimental design was used to measure the indicators by taking into account the reference of efficiency indicators in each variable analyzed. Interviews and surveys were carried out with managers, technicians and producers, review of documents, the economic and productive database, direct observation in the field, the calculation of the variables was applied, with the capture of primary and secondary information. A conceptual system of environmental indicators that apply to Cuban mountain agrosystems was assumed, taking into account the contextual and spatial characteristics of the agrosystem under study. The importance of having environmental indicators for mountain agrosystems in Cuba was demonstrated, which require a set of comprehensive variables that can be specific to each place evaluated. The main environmental indicators were evaluated based on the selection made, determining that the most affected indicators are erosion, soil surface at risk of desertification and water quality. The general evaluation of the agrosystem is presented with 62.5% efficiency, considered moderately fragile to act in order to apply a successful policy for the use of resources in a consistent manner with appropriate measures spatially and temporally.

Keywords: environment, erosion, desertification, pollution

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Revisión bibliográfica.....	5
1.1. Agrosistema.....	5
1.2. Agroecosistema de montaña.....	9
1.3. Indicadores ambientales.....	12
Capítulo 2: Materiales y métodos.....	22
2.1. Caracterización del agrosistema de montaña El Mamey.....	22
2.2. Determinación de los indicadores ambientales.....	22
Capítulo 3: Resultados y discusión.....	27
3.1. Caracterización del agrosistema de montaña El Mamey en Cumanayagua.....	27
3.2. Indicadores ambientales.....	31
Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Referencias.....	49

Introducción

El uso y manejo de los agrosistemas de montaña manifiesta el desequilibrio de los factores abióticos y bióticos ocasionando la vulnerabilidad de los mismos y la exposición a riesgos del cambio climático (Altieri y Nicholls, 2020). Es así, que muchos de los riesgos agroambientales en estos agrosistemas requieren ser evaluados (Lugo y Morin, 2020), con medidas agroambientales que son consideradas como herramientas útiles para frenar la degradación de los sistemas agrícolas (Concepción y Díaz, 2018), donde los impactos ocurridos no son fácilmente medibles o evaluables en el tiempo. Por lo que resulta necesario utilizar indicadores que permitan tener información numérica y la descripción de procesos y fenómenos ocurridos dentro de los agrosistemas de manera sistemática (Maser, 2019).

Por tanto, evaluar y monitorear los problemas agroambientales, además de la pobreza rural, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Italia. FAO, 2018), requiere también una planificación participativa con lineamientos técnicos, socioeconómicos y ambientales (Obando, 2021) y la toma de actitudes desde los agricultores en políticas agroambientales (Italia. FAO, 2018). De la misma manera las interacciones entre los sistemas de vida y los agrosistemas (Italia. FAO, 2018), han generado la degradación de la calidad de los suelos, proliferación de plagas y enfermedades y entre otros como la degeneración del material genético, a criterio del Servicio Nacional de Áreas Protegidas de Bolivia (SERNAP, 2021) hasta ocasionar el desequilibrio ambiental de los agrosistemas (Lugo y Morin, 2020).

En diferentes regiones del mundo los problemas agroambientales ascienden a millones de hectáreas de tierra, muchos de estos ocasionados por la contaminación de los suelos y aguas, además por la habilitación de nuevos espacios agrícolas (Italia. FAO, 2018).

El uso intensivo de los recursos naturales, el incremento del consumismo desmedido e inapropiado, el aumento de la contaminación ambiental del aire, el suelo y las aguas, el derroche de energía, son aspectos que amenazan el futuro, el desarrollo y la existencia de la especie humana. En Cuba se han tomado medidas que van desde el ámbito jurídico transitando por el social en pos del medioambiente. En la Constitución de la República en su Artículo 27 establece que: “El Estado protege al medioambiente y los recursos naturales del país”. En ese artículo se reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las

generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera y la conservación de los recursos de forma general.

Para la correcta implementación de la política trazada, en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC), se aprobaron los Lineamientos 133, 179, 196 y 204 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, donde se plantea sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medioambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social. Priorizar estudios encaminados a enfrentar el cambio climático y, en general, a la sostenibilidad del desarrollo del país. Enfatizar la conservación y uso racional de los recursos, así como el fomento de la educación ambiental.

En consonancia con los Lineamientos reordenados en el VIII congreso del PCC, el país debe transformar y organizar su sistema de desarrollo económico y social, pero ante las dificultades financieras y materiales, estas alternativas no han podido ejecutarse de la manera que se diseñaron, lo que desencadena violaciones relacionadas con el uso, manejo y el control de los recursos.

Las actividades económicas están relacionadas con una determinada manera de utilizar los recursos naturales y los ecosistemas que los contienen (Mora, 2018; Guaymas, 2020). Pero los ecosistemas también funcionan como sumideros de las actividades humanas, suministro de materias primas y energía para los procesos económicos, también ofrecen servicios para el disfrute del medio.

La utilización de indicadores para todas las dimensiones proporciona información oportuna, precisa y fiable acerca del estado de los recursos y el desarrollo sustentable a la hora de tomar decisiones. Asimismo, los indicadores sirven para identificar aquellas actividades que favorecen al mejoramiento o la degradación de las condiciones ambientales, permitiendo establecer metas precisas y acciones futuras para que, a su vez, los gobiernos y la sociedad civil evalúen avances en sus acciones. Estos poseen el potencial de constituir importantes herramientas sustentadas científica y técnicamente.

Cuando se habla de indicadores, se induce a un proceso mediante el cual se llega a evaluar de forma cuantitativa o cualitativa el estado y tendencia de un fenómeno, ya sea de enfoque económico, social o ambiental. Los conjuntos de indicadores o índices integrados han sido utilizados en una gran variedad de disciplinas para medir conceptos complejos y

multidimensionales que no se pueden observar ni medir directamente. El poder de estos indicadores reside en su habilidad de sintetizar una gran cantidad de información en un formato simple y práctico lo que posibilita:

- Proteger la salud humana y el bienestar general de la población.
- Garantizar el aprovechamiento sustentable de los recursos.
- Conservar la integridad de los ecosistemas.

Los análisis sistémicos contemplan como recursos del sistema: agua, suelo, flora, fauna, aire, recursos culturales y áreas únicas; y como elementos de operación del sistema y otros exógenos el componente técnico y socioeconómico. Ávila (1989) y Weber (1990), citados por De Camino y Muller (2020), de igual forma los mismos autores sostienen que la relación entre los atributos de los agrosistemas a largo plazo, reconocerá la interdependencia entre estos y la relación se volverá relativamente complementaria.

La autora ha tenido como motivación principal el hecho de que, en la bibliografía consultada, para Cuba, hay una insuficiencia de metodologías que posibilitan la evaluación integral de la situación medioambiental de los ecosistemas frágiles de montaña, que no están acompañadas de un sistema de indicadores que miden la secuencia e impactos de estas metodologías.

A partir del diagnóstico realizado en el agrosistema de montaña El Mamey, se identificaron algunos de los principales problemas existentes: pérdida de la diversidad biológica, degradación de los suelos, afectaciones a la cubierta forestal, disminución de la calidad, disponibilidad de agua, existencia de fuentes contaminantes, desequilibrios en las actividades económicas y pérdida de tradiciones culturales, entre otros.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado y la necesidad de evaluar la situación actual y los efectos de las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo, se asume el siguiente **problema de investigación**.

- ¿Cómo evaluar los indicadores ambientales en el agrosistema de montaña El Mamey en el municipio de Cumanayagua?

Hipótesis

- La evaluación de indicadores ambientales permitirá conocer la situación real del agrosistema de montaña El Mamey en Cumanayagua y accionar en aras de aplicar una

acertada política para el aprovechamiento de los recursos de manera consecuente con medidas acertadas espacial y temporalmente.

Objetivo general

- Evaluar indicadores ambientales en el agrosistema de montaña El Mamey en Cumanayagua.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el agrosistema de montaña El Mamey.
2. Determinar los indicadores ambientales.

Capítulo 1: Revisión bibliográfica

1.1. Agrosistema

La palabra agrosistema es una palabra compuesta por los vocablos agro y sistema. Agro hace referencia al campo o tierra entendidos como fuente de producción (Ruiz, 2019); la cual se relaciona con agricultura, entendida según Hernández (2018), como la actividad en la que el hombre en un ambiente determinado, maneja los recursos disponibles (naturaleza, energía e información) para producir los alimentos que satisfagan sus necesidades. La raíz de sistema, referido al vocablo agrosistema, es la interrelación e interacción entre los organismos y su ambiente con una finalidad (Ruiz, 2019); y a su vez se define al mismo como un área de estudio con ciertas propiedades o características que la diferencian de otras por encima de lo que puede ser un ecosistema natural (Mariaca, 2018).

En 1985, Conway aplicó la teoría y el enfoque de sistemas al estudio de los agrosistemas; el cual se conceptúa como un ecosistema modificado por el hombre que interactúa con factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción para la obtención de alimento y servicios en beneficio del hombre (Ruiz, 2019). Refiere Hernández (2018) que Harper (1974), realizó la primera conceptualización de agroecosistema, siendo el pionero en introducir el concepto en las investigaciones mexicanas; lo define como un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola.

A criterio de Montaldo (2019), el hombre es quien origina el sistema por su acción en el ecosistema natural teniendo como objetivo la utilización del medio en forma sostenida para obtener productos agropecuarios. Odum (2020), menciona que los agrosistemas son ecosistemas domesticados por el hombre, entendiendo esto, como el proceso a través de la historia en el cual el hombre ha “domado” a especies vegetales y animales con el fin de obtener productos y servicios que le sirvan de satisfactores para sus necesidades; ya que, el proceso de domesticación de especies, tanto vegetales como animales ha ido transformando con el transcurso del tiempo y el espacio los sistemas de producción.

Hart (2021), dice que el agrosistema es un sistema formado por un grupo de especies características de un hábitat determinado (biótica) y el medio ambiente con el que interactúa procesando entradas de energía y materiales que producen salidas. Conway (2017), lo define como un ecosistema modificado por el hombre para obtención de productos; mientras que Marten

y Rambo (2018) lo definen como un complejo de recursos ambientales y otros factores que el hombre ha modificado para la producción agrícola. En el 2017, Conway y McCracken definieron el agrosistema como un sistema ecológico modificado por el hombre para la producción de alimentos, fibras y otros productos agrícolas.

Para Ruiz (2019) el agrosistema es la unidad de estudio donde interactúan diversos factores (tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos) para obtener productos que satisfagan las necesidades del hombre por un periodo de tiempo. Altieri (2017) menciona que una parte fundamental de los agrosistemas son el ente controlador (hombre, familia) siendo este quien modifica, interviene, orienta y define la producción convirtiéndose en el controlador y regulador del mismo, ya que toma la decisión respecto a la finalidad del sistema.

Por su parte, Martínez (2018), considera al agrosistema como un modelo conceptual que prioriza el rol que desempeña el controlador en la toma de decisiones; mientras que, Gallardo, et al., (2021), mencionan que la diversidad de factores que influyen en el agrosistema ocasionan problemas en diferentes dimensiones; por lo que es necesario el diagnóstico que permita determinar las prácticas, asociación, factores y finalidad del mismo. Se puede entender por agrosistema cualquier tipo de ecosistema modificado y gestionado por los seres humanos con el objetivo de obtener alimentos, fibras y otros materiales de origen biótico (Gómez Sal, 2021).

Gómez Sal (2021), expone que la principal diferencia de los agrosistemas con los ecosistemas (poco intervenidos), se basa en su dependencia de la gestión humana para asegurar su funcionamiento: producción, fertilidad, ciclo del agua, relaciones entre animales y plantas, mantenimiento de la calidad de los suelos, etc. Esto les confiere características propias y originales: agrobiodiversidad, regulación cultural, infraestructuras y paisaje agrario. Por todo ello, el papel e importancia de los seres humanos, tanto como especie biológica (consumidor), trasvase de energía y materiales, como en su vertiente cultural, en la estructura y funcionamiento de los agrosistemas es consustancial e ineludible.

Los agrosistemas (incluyendo usos agrícolas y ganaderos) abarcan más de un 60% del territorio español. La mayor proporción corresponde a la categoría “Tierras de labor y cultivos permanentes” que representa el 31,6% de la superficie del país. En este gran conjunto de terrenos, se incluyen dos de los tipos generales de agroecosistemas: Sistemas con componentes leñosos dominantes (principalmente olivares y viñedos) y cultivos herbáceos (Gómez Sal, 2021).

La siguiente categoría en el uso de la tierra son las “Praderas y zonas agrícolas heterogéneas”, que corresponde a tipos de agrosistemas basados en mayor medida en el manejo de la biodiversidad (paisajes reticulados, huertas tradicionales y policultivos,). Supone en torno al 18,7%. Por último, la categoría “Pastizal natural y matorrales”, que son agrosistemas sólo en parte (caso de los silvopastorales y abundantes pastizales de montaña) representa el 17,6% (Gómez Sal, 2021).

Este mismo autor refiere que los agrosistemas, son la factoría en la que se genera y mantiene la biodiversidad inducida por la acción del ser humano, agrobiodiversidad. En su composición se cuentan las razas de ganado, las variedades de plantas cultivadas, variedades y tipos de plantas existentes en pastizales y prados, así como los paisajes culturales asociados a los usos agrarios (Gómez Sal, 2021).

Continúa el autor este análisis refiriendo que los servicios esenciales de aprovisionamiento que dependen de la agrobiodiversidad, más allá de la importancia de disponer de alimentos abundantes y variados (seguridad de suministro), incluyen el patrimonio genético y la seguridad alimentaria. Estas dos últimas funciones están muy amenazadas por el desarrollo de sistemas intensivos (dependencia de semillas y variedades comerciales, organismos genéticamente modificados (OGM) por ejemplo para la alimentación animal, el uso desproporcionado de agroquímicos en sanidad vegetal o la alimentación animal con productos que podrían suponer un riesgo para la salud humana (Gómez Sal, 2021).

Platas-Rosado, González-Reynoso, Severino-Lendechy, López-Romero, Vilaboa-Arroniz (2017) exponen que el agrosistema no aparece espontáneamente, se deriva de escenarios inmediata y mediatamente anteriores por la intervención del hombre tal y como aparecen en el momento de su análisis es porque devinieron de manifestaciones anteriores así se puede decir que son históricamente determinados, dinámicos y en un proceso de cambio continuo a través del tiempo; por tanto, un agrosistema como se conoce hoy no es el mismo de ayer ni será el mismo de mañana ya que se encuentra en proceso de cambio, determinar su longevidad, utilidad, pertinencia, resiliencia, productividad, autonomía, grado de autopoiesis, entre otros factores; son temas que invitan a la discusión filosófico, teórica, conceptual y metodológica sobre el enfoque en agrosistemas.

Así, su concepto, como todo concepto, es dinámico, evoluciona, se adapta a través del tiempo acorde a las necesidades de investigación y estudio, ya que un concepto que no parta de respaldo

teórico y filosófico; y lo más importante, que no tenga aplicación y su operacionalización para la solución de problemas reales carece de validez (Platas-Rosado, González-Reynoso, Severino-Lendecky, López-Romero, Vilaboa-Arroniz, 2017).

Así su dinamismo y evolución explica su devenir histórico; de donde viene y hacia dónde va. Siendo este un objetivo motivo de análisis, reflexión y discusión académica. En un momento determinado, los agrosistemas, describen y analizan una representación concreta y particular de una extracción de la compleja realidad las cuales son semejantes en ciertas generalidades pero diferentes entre sí en cuanto a particularidades ya que tiene coordenadas espaciales y temporales exactas ya que se dan en con contexto espacial local y global, es decir está ubicados en un punto geográfico específico, sin embargo dependen lo que suceda más allá de su posición geográfica, dependen de su entorno; ya que también son influenciados por condiciones naturales que se originan más allá de su contexto local, como los fenómenos naturales originados por el cambio climático, aspectos socioeconómicos, políticos y culturales productos de la globalización, que en su conjunto impactan la toma de decisiones del controlador del agroecosistema (Platas-Rosado, González-Reynoso, Severino-Lendecky, López-Romero, Vilaboa-Arroniz, 2017).

El concepto de agrosistema ha sido interpretado y utilizado de diversas formas acorde al contexto donde ha sido aplicado. En el caso que ocupa esta investigación, se asume que agrosistema es espacial, contextual, pero refiere fundamentalmente a caracterizarse como un ecosistema sometido por el hombre a continuas modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos para la producción de alimentos y fibras. Aceptando validez para los propósitos de la investigación se reconoce lo que la Fundación Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (IFAD, 2023) propone conceptualmente como agrosistema:

El agrosistema es un ecosistema alterado por el hombre con el objetivo de sacarle la máxima rentabilidad productiva de forma respetuosa con el medioambiente. También se le llama ecosistema agrícola, y está formado tanto por elementos bióticos como por abióticos. Los bióticos, como ya habréis deducido, son organismos vivos como los animales y las plantas. Los abióticos, todos aquellos que dan al ecosistema sus características físicoquímicas, como por ejemplo el grado de humedad, la cantidad de luz o el rango de temperaturas. La clave de un agroecosistema está en que todos estos elementos están pensados para que interactúen entre sí y formen parte de un mismo engranaje productivo (IFAD, 2023).

A partir del sistema conceptual referenciado en este epígrafe, se asientan las bases para emprender el significado de agroecosistema de montaña, aspecto que sustenta teóricamente el contexto donde se desarrolla la presente investigación.

1.2. Agroecosistema de montaña

Según Villanueva-Jiménez (2022), un agroecosistema de montaña es un ecosistema modificado por la agricultura en la montaña, es un sitio de producción agrícola. El concepto de agroecosistema ofrece un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad incluyendo el complejo conjunto de entradas y salidas y las interacciones entre sus partes:

- Unidad básica de estudio de la agricultura
- Es producto de la modificación de un ecosistema por el ser humano
- Está integrado a un sistema regional agrícola a través de cadenas de producción-consumo,
- Existen relaciones entre sus componentes e interacciones de política y cultura, de instituciones públicas y privadas.
- Su dinámica está basada en la retroalimentación de los procesos ecológicos y socioeconómicos.
- Busca la producción sustentable de alimentos, materias primas, servicios ambientales, entre otros; contribuyendo al bienestar de la sociedad.

Cabrera (2017), refiere que los ecosistemas de montaña, entendidos como sistemas complejos con determinada extensión territorial, dentro del cual existen interacciones de los seres vivos entre sí y de estos con el medio físico o químico, son también definidos en primer lugar por la pendiente, la elevación de las montañas, la altitud y proximidad de los océanos para caracterizar el clima, como espacios de experimentación de un nuevo enfoque de desarrollo que requiere una mejor conexión entre los contextos económico, social y ambiental.

En el capítulo 13 de la Agenda 21 dedicado al ordenamiento de los ecosistemas frágiles se realiza este reconocimiento al señalar: «Las montañas son las zonas más sensibles a los cambios climáticos de la atmósfera. Es indispensable contar con información específica sobre la ecología, el potencial de recursos naturales y las actividades socioeconómicas». Por tal razón los ecosistemas de montaña tienen especial importancia para la gestión de la sostenibilidad

ambiental, y para su transformación sostenible se requiere la identificación de variables e indicadores de partida que permitan evaluar la situación actual y constituyan puntos de referencia para la elaboración de estrategias que contribuyan al desarrollo sostenible en estos espacios montañosos (Díaz Duque, Menéndez, Guzmán, García, 2018).

El agrosistema montañoso, como todos los ecosistemas, está formado por un conjunto de factores abióticos como el suelo, el agua o el clima y por factores bióticos, siendo estos los organismos vivos que lo habitan. No obstante, se refiere a este tipo en concreto como ecosistema montañoso porque ambos factores se desarrollan en un relieve montañoso donde el factor determinante es la altitud que desencadenará los cambios, especialmente la temperatura (Ropero Portillo, 2022).

A criterio de las investigaciones realizadas por Ropero Portillo (2022), se asume que los agrosistemas montañosos son complejos, por lo que algunas de las características de estos espacios son:

- Temperatura cambiante. La primera característica de los ecosistemas montañosos es que la temperatura es un factor muy cambiante, ya que esta es distinta dependiendo de la altitud. Entonces, ¿cómo es el clima en el ecosistema montañoso? Conforme la altitud aumenta, la temperatura disminuye, aunque no en todas las zonas disminuye a la misma altitud.
- Diversidad de bosques. La disminución de temperatura hace que conforme se vaya aumentando de altura los árboles no puedan desarrollarse igual, motivo por el cual los bosques se encuentran en las zonas bajas y medias de las montañas y en las zonas altas estén las herbáceas y arbustos.
- Obstáculo para las corrientes de aire. Otra característica de los ecosistemas montañosos a destacar es que son un obstáculo para las corrientes de aire cálidas y superficiales que van cargadas de humedad, pues al subir por la montaña estas acaban enfriándose. Como consecuencia, la humedad se condensa y se forman nubes que acaban generando precipitaciones.
- Mayor radiación solar. También cabe mencionar que los ecosistemas montañosos reciben mayor radiación solar, lo que tiene un efecto negativo en los tejidos de los seres vivos. Es por eso que tanto especies vegetales como animales necesitan de ciertas estrategias para

soportarla. Por ejemplo, la dureza y el tamaño de las hojas de algunas especies de plantas que se encuentran en las zonas más altas de la montaña son una estrategia de adaptación.

- La gravedad: favorece la esorrentía del agua procedente de la lluvia, algo esencial para los seres vivos que habitan en dicho ecosistema.
- Orientación de la ladera: ya que al haber dos laderas con diferentes orientaciones en una montaña, estas reciben la radiación del sol a distintas horas del día, influyendo así en la variedad de la flora existente.
- Flora de los ecosistemas montañosos: la vegetación del ecosistema montañoso va cambiando al aumentar la altitud, ya que cuanto mayor sea esta, menor será la temperatura y mayor la radiación solar.
- Fauna del ecosistema montañoso: las especies que habitan los ecosistemas montañosos tropicales existe una gran variedad de insectos, reptiles, mamíferos de pequeño tamaño, aves.

Según (Italia. FAO 2018), los agrosistemas de montaña son el hogar y refugio de una quinta parte de la población mundial, y el 80% de la reserva total de agua dulce que existe sobre el globo terrestre. Santuarios para especies únicas de plantas y animales e inmensos laboratorios naturales de la dieta básica de la mayoría de los habitantes del planeta; por la gran variedad de cultivos que albergan, las montañas constituyen entre el 20 y el 25% de la superficie total terrestre.

Refiere (Italia. FAO 2018), que durante, miles de años las montañas son fuente de recursos básicos y valiosísimos: el agua, la energía, la diversidad biológica; y en la época contemporánea centros de cultura y de recreo. Los procesos socio económicos como la globalización, el incremento del turismo, el urbanismo y las actividades extractivas, son un alto riesgo para las comunidades de las montañas y los recursos para su subsistencia.

Datos referentes a estudios organizados por (Italia. FAO 2018), aproximadamente dos mil millones de personas dependen de las montañas para su subsistencia, así como la sostenibilidad de la diversidad biológica, por una sencilla y básica razón casi el 80% del agua fresca y dulce del mundo provienen de ellas. Aparte de ser barreras naturales que rodean las corrientes de los vientos.

El conocimiento de los servicios naturales que prestan las montañas a la humanidad es casi nula en la población, pues no cuentan con una disciplina propia, y tampoco existen aún movimientos

sociales que difundan las grandes amenazas que enfrentan ecológica y culturalmente, son marginales, pese a ser cuna de grandes civilizaciones, que dieron origen a la agricultura (Italia. FAO, 2018).

1.3. Indicadores ambientales

Según Economipedia (2023), en su definición técnica, un Indicador ambiental es el conjunto de datos clave que se usa para conformar un parámetro, con el fin de conocer el estado en que se encuentra el medioambiente en un tiempo y lugar determinado.

Un indicador ambiental es el conjunto de datos clave que se usa para conformar un parámetro, con el fin de conocer el estado en que se encuentra el medioambiente en un tiempo y lugar determinado (Ivette, 2021). Gracias al indicador ambiental es posible analizar información, basada en datos confiables sobre la situación en que se encuentra o puede encontrarse el medioambiente.

Rayén Quiroga (2021), expone que los indicadores ambientales son una herramienta que se emplea para tomar decisiones al evaluar la condición de algún medio. Por ejemplo, para reducir el impacto ambiental o para prever el efecto de alguna acción humana. Es posible incluso examinar relaciones de causa efecto. Por ejemplo, el impacto de la contaminación del suelo en el clima global, la pérdida de suelos y el riesgo en la biodiversidad, la desaparición de especies y el cambio en la cadena alimenticia.

De igual forma es posible que, mediante el uso de un indicador ambiental sea posible conocer una tendencia, a partir de la cual se puede proyectar hacia el futuro la forma en que se pueden comportar determinadas variables que se correlacionan con el medioambiente. Con esto se toman decisiones anticipadas para evaluar el riesgo ambiental, minimizarlo o evitarlo (Rayén Quiroga, 2021).

El daño ambiental y el agotamiento de recursos naturales que se presenta a nivel mundial es una carrera contra el tiempo, porque en la medida en que se actué para revertirlo, se podrán tener (o no) recursos naturales en el futuro, los cuales aseguren la subsistencia de la humanidad y los seres vivos tal como se les conoce. Es por ello que, año tras año se muestra la necesidad e importancia de tener indicadores ambientales que muestren la correlación con los aspectos económicos, políticos y sociales de manera eficiente y eficaz.

Gracias a los indicadores ambientales se pueden dar argumentos sólidos para la implementación de políticas en materia ambiental, así mismo poder comunicar los avances de esas políticas y el logro de los compromisos contraídos internacionalmente. Conocer los indicadores ambientales e informar a las empresas, la sociedad civil, el Gobierno y las organizaciones internacionales, les permite una participación más activa, eficaz y eficiente en materia ambiental. Por ejemplo, la efectividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales o los efectos de ello en las empresas que usan en sus procesos productivos aguas tratadas. Otro ejemplo es la contaminación del agua de ríos y las especies amenazadas que sirven de sustento para personas que se dedican a la pesca a menor escala (Ivette, 2021).

Ivette (2021) y Rayén Quiroga (2021), coinciden en que las peculiaridades distintivas de los indicadores ambientales es el uso de información ambiental. Sin embargo, no es el único, ya que existen otras características como lo son:

- Brindar información que sea de sencilla comparación con datos internacionales.
- Tener la capacidad de relacionarse con modelos económicos.
- Ser capaz de aplicar a escala local, regional o nacional y mostrar tendencias en el tiempo de fácil interpretación.
- Solidez en la veracidad de las cifras.
- Fácil actualización en intervalos regulares.

No todos los datos de los que se dispone pueden ser útiles para formular un indicador ambiental, tal y como expone Rayén Quiroga (2021). Y es que si existe una inapropiada selección de datos para la conformación de un indicador no sólo dificultaría su comprensión, sino que también su interpretación, que desencadenara decisiones erróneas que podrían incluso degradar el medioambiente en lugar de evitar su deterioro.

Es por ello que existen una serie de requisitos generales para poder diseñar un indicador ambiental (Rayén Quiroga, 2021). Para tener una guía más precisa es posible cuestionarse algunos interrogantes, como, por ejemplo:

- ¿La información que arroja es relevante o de interés para la toma de decisiones en el tema ambiental?
- ¿Responde a las necesidades de la sociedad civil, las empresas o el gobierno?
- ¿Los datos son confiables, tienen un rigor científico?
- ¿Se puede contar con la documentación correspondiente?

- ¿La información obtenida es representativa con relación a una población o solo refleja una pequeña muestra?
- ¿Se sigue una metodología accesible que facilita tener información?
- ¿Se puede contar con la información a lo largo del tiempo, para que sea posible realizar comparativos en distintos momentos en el tiempo?
- ¿La información es tan compleja que dificulta la interpretación de la misma?
- ¿Permite mostrar las condiciones ambientales, y las presiones que se tienen sobre él?

Pueden ser indicadores ambientales:

- Índice de bienestar económico sostenible (IBES).
- Índice de sostenibilidad ambiental (ISA).
- Índice global de economía verde (GGEI).
- Índice de desempeño ambiental (EPI).
- Huella ecológica (HE).
- Huella ecológica ajustada (HEA).
- Huella de carbono (HC).
- Huella hídrica (HH).
- Índice del planeta vivo (LPI).

El reciente análisis de ecoeficiencia de la agricultura proporciona algunos indicios alentadores de que la agricultura es capaz de superar las dificultades ambientales futuras. Según datos de países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Francia. OCDE), de 2020 a 2030 ha habido mejoras en el manejo de nutrientes, pesticidas, energía y ordenación de los recursos hídricos, al utilizar menos de estos insumos por unidad de volumen de producción. Esa mejor ecoeficiencia también se debe a que los agricultores han hecho un uso más generalizado de técnicas benéficas para el medio ambiente; por ejemplo, labranza de conservación, mejor almacenamiento del estiércol, pruebas de los nutrientes del suelo y riego por goteo (Francia. OCDE y Italia. FAO, 2018).

La agricultura ocupa un lugar importante con respecto al medio ambiente, sobre todo por la cantidad de tierra y de agua que utiliza; a diferencia de un papel mucho menor en la economía general (por ejemplo, participación en el empleo y el Producto Interno Bruto (PIB)). La agricultura es reconocida por producir factores externos ambientales positivos (por ejemplo, el

secuestro de carbono) y negativos (por ejemplo, la contaminación del agua), que no se reflejan en el PIB agrícola, ya que hay pocos mercados para estos factores externos. Es probable que el valor de los factores externos negativos y positivos generados por la agricultura sea considerable, pero actualmente no existe ninguna evaluación monetaria completa de esos costos y beneficios (Italia. FAO, 2018)

Los indicios positivos de avance ambiental se deben en parte a una mejor integración de los temas ambientales en la toma de decisiones de los agricultores, desde principios de la década de 2010. Esto refleja una combinación de reglamentos más rigurosos para proteger la ecología, aumentos en los pagos agroambientales y elaboración de medidas; por ejemplo, instrumentos que se basen en el mercado, trabajo colectivo y asistencia técnica e investigación. Además, en el transcurso de la última década en la mayoría de los casos la tendencia en la desaceleración del crecimiento de la producción agrícola comparado con la década de 2010 —para casi todos los países de (Francia. OCDE , 2021)— ha sido reducir el uso de los insumos agrícolas (nutrientes, pesticidas, energía y agua) y la emisión de gases producidos por el ganado (amoníaco, metano), lo que ha mejorado la calidad ambiental (Italia. FAO, 2018)

Los pagos totales de los contribuyentes de la OCDE a los productores agrícolas para generar beneficios y reducir los costos ambientales han aumentado considerablemente desde principios de la década de 2010, y ya ascienden a miles de millones de dólares anuales, aunque no hay cifras estimadas disponibles. Es complejo identificar en qué medida esos pagos presupuestarios durante los últimos 20 años han configurado la ecoeficiencia de la agricultura en(Francia. OCDE , 2021) Esto se debe a que los pagos son los únicos motores que afectan el cambio ambiental, mientras los adelantos en otras políticas, la economía, los mercados, la tecnología, el conocimiento, las expectativas de la sociedad y el medio ambiente natural influyen, sin excepción, para configurar los resultados ambientales en la agricultura (Italia. FAO, 2018)

En algunas regiones de los países de la OCDE el avance para mejorar la ecoeficiencia de la agricultura ha sido decepcionante. Se requieren mayores esfuerzos por parte de los agricultores, de los responsables de la formulación de políticas y de la cadena agroalimentaria para atacar la contaminación del agua y la disminución de las poblaciones de aves de crianza en tierras de labor, en esas regiones. Los niveles absolutos de contaminación continúan siendo un problema, ya que en muchas regiones de los países de la (Francia. OCDE, 2021) siguen ejerciendo una presión importante sobre el medio ambiente. Por ejemplo, los altos niveles de excedentes de

nitrógeno y fósforo contaminan el suelo, el agua y el aire; y la aplicación excesiva de pesticidas contamina las aguas freáticas (Francia. OCDE, 2021 y Italia. FAO, 2018)

En la edición de 2021 de Perspectivas de la Agricultura OCDE -FAO se proyecta un incremento en la producción agrícola para casi todos los países de la OCDE. En un “escenario normal”, la proyectada expansión de la producción podría aumentar la presión sobre el medio ambiente. Esto plantea un problema importante en materia de política pública para ampliar simultáneamente la producción para satisfacer las demandas mundiales de seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, reducir los costos ambientales y promover los beneficios ambientales relacionados con la agricultura (Moxey, 2019).

Según Moxey (2019), solucionar los dos problemas de política pública de garantizar la seguridad alimentaria mundial y mejorar la ecoeficiencia exigirá aumentar la productividad ambiental y de recursos de la agricultura; mejorar las prácticas de explotación de la tierra; reducir al mínimo las descargas contaminantes; disminuir el daño a la biodiversidad y fortalecer las políticas que eviten el uso de subsidios para los insumos y la producción, que perjudican al medio ambiente.

Las definiciones de los indicadores, y sobre todo cuando se trata de indicadores específicos, varían mucho en el plano conceptual. La definición de un indicador agroambiental sobre la cual se basa el presente informe es una medida representativa que asocia datos brutos a un fenómeno o a otro que reviste importancia para responsables gubernamentales (por ejemplo, los índices de erosión de los suelos).

Moxey (2019), expone que los indicadores forman parte de un continuum que, a partir de datos brutos, elabora indicadores calculados, modelos formalizados y conocimientos confirmados, y en especial informaciones aprobadas sobre las cuales ha habido un amplio consenso.

Algunos de los indicadores se acercan más al punto de partida de este continuum, es decir de los datos brutos, como por ejemplo la modificación de la superficie de las tierras agrícolas, mientras que otros funcionan con un sistema más o menos avanzado de datos, cuyo grado de complejidad se sitúa entre una formulación sencilla, por ejemplo el porcentaje de tierras agrícolas donde se aplican sistemas de producción de la agricultura biológica, y cálculos más complejos, como el indicador del balance de nitrógeno, que se obtiene mediante una ecuación completa de entradas y salidas (Moxey, 2019).

La razón de ser común a todos los indicadores es comunicar informaciones de forma sintética sobre aspectos importantes para los responsables gubernamentales. Por consiguiente, su (o sus) usuario(s) convertirán una información en un indicador, lo que supone que la elección de los indicadores sea aceptable para los responsables políticos y para el público, y que se realice con total rigor científico (Moxey, 2019).

En concreto, los criterios expuestos por el referido autor deben ser:

- Pertinentes en términos de políticas: deberían centrarse en los principales problemas de medio ambiente con los que se enfrentan los gobiernos y las demás partes interesadas en el sector agrícola;
- Analíticamente exactos: deben basarse sobre conocimientos científicos sólidos, pero también hay que reconocer que su elaboración debe pasar por fases sucesivas de mejora;
- Cuantificables: deben poder calcularse a partir de datos actuales o planificados, y deben ser rentables en términos de recogida de datos;
- Fáciles de interpretar: deberían expresar informaciones esenciales para los responsables gubernamentales y el público en general, sin ninguna ambigüedad y de manera que sean fáciles de entender.

La selección de los indicadores es un proceso evolutivo que depende de las presiones de la sociedad y de las decisiones políticas. Algunos ámbitos medioambientales están ganando importancia al mismo tiempo que aparecen nuevos problemas (por ejemplo, el depósito de gas de efecto invernadero que representan los suelos), mientras que en otros están disminuyendo a partir del momento en que se han reducido las repercusiones de la agricultura en el medio ambiente (por ejemplo, la prohibición de utilizar ciertos pesticidas). No obstante, es innegable que se está llevando a cabo un esfuerzo considerable para desarrollar indicadores agroambientales destinados a contribuir a la evaluación de la situación actual y de las tendencias en el medio ambiente y que sirven de instrumento para los responsables políticos (Moxey, 2019).

Se identifican tres tipos principales de indicadores agroambientales, según expone la (Francia. OCDE, 2021):

- Indicadores de causa, que rinden cuenta de los factores que inducen a modificaciones sobre el estado del medio ambiente ligadas a la agricultura, por ejemplo, cambios respecto

a las posibilidades de implementar ciertas prácticas de gestión de las exportaciones agrícolas y la utilización de elementos nutritivos, pesticidas, tierras y recursos hídricos;

- Indicadores de estado, que destacan los efectos de la agricultura en el medio ambiente, por ejemplo, las repercusiones en los suelos, el agua, el aire, la biodiversidad, los hábitats y los paisajes;
- Indicadores de respuesta, que sirven para medir las acciones emprendidas para responder a las modificaciones del estado del medio ambiente, por ejemplo, las variaciones de los gastos agroambientales.

Se reconoce explícitamente que las interacciones y los vínculos entre la agricultura y el medio ambiente son complejos y diversos, al tiempo que ofrecen una estructura en la que los indicadores individuales pueden situarse en su contexto. En algunos casos, los límites entre causas, estado y respuesta no son muy claros ya que ciertos indicadores pueden considerarse a la vez causas y respuestas, por ejemplo, cuando se trata de cambios en las prácticas y en los sistemas de gestión adoptados por las explotaciones agrícolas.

- Protección y Conservación de Fuentes de Agua (PCFA).
- Erosión (E).
- Uso de agroquímicos (AgQ).
- Cobertura vegetal del suelo (CVS).
- Superficie de suelo con riesgo de desertificación (SSRD).
- Emisiones de CO₂ y otros gases con efecto invernadero (EG).
- Biodiversidad (B).
- Calidad de las aguas (CA).
- Destino de Aguas Residuales (DAR).
- Compactación del Suelo (CS).

De las experiencias estudiadas, lo primero que se debe indicar, es que algunos países están desarrollando, desde hace un tiempo considerable, indicadores ambientales, mientras que otros, que por lo general se han integrado posteriormente al trabajo de desarrollo de indicadores, lo están haciendo desde el enfoque de desarrollo sostenible, esto es, incorporando (pero no necesariamente vinculando) las dimensiones económica, social, ambiental e institucional del

desarrollo. Se constata una profusión en el desarrollo de indicadores de escala o cobertura nacional, en general a cargo de los gobiernos centrales (agencias de medio ambiente o de desarrollo sostenible) (Rayén Quiroga, 2021).

A criterio de Rayén Quiroga (2021), por otra parte, organizaciones de la sociedad civil y reparticiones gubernamentales sectoriales o territoriales, han estado desarrollando indicadores de sostenibilidad que dan cuenta de fenómenos locales (ciudades), territoriales (cuenca, bahías), temáticos (por ejemplo biodiversidad, aguas) o bien sectoriales (energía, transporte, agricultura).

En lo que respecta a Cuba, si bien los indicadores locales o temáticos constituyen un ámbito de creatividad bastante interesante, un sistema de indicadores ambientales de nivel nacional, que sirva para medir el progreso hacia el desarrollo sostenible, monitorear impacto de políticas y alimentar la participación ciudadana, tiene un costo de inversión y de operación que es bastante más alto de lo que organizaciones independientes de la sociedad civil pueden absorber. Más aún, se considera un deber del Estado el producir esta información oportuna y transparentemente, igual que se producen los indicadores económicos y sociales (Castro, 2020).

En el caso de Cuba, según Castro (2020), mucho camino se ha recorrido desde mediados de la década del 80, cuando se inició el trabajo en torno a los indicadores de sostenibilidad ambiental. En los noventa, se articuló con mayor fuerza el trabajo para diseñar indicadores de sostenibilidad en los países más desarrollados y también en algunos espacios latinoamericanos. La Cumbre de la Tierra, el Programa de Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS) de la Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas (CDS), y otros impulsos en la agenda ambiental de los gobiernos, han generado desarrollos vigorosos en los últimos años (Castro, 2020).

Expone Castro (2020), que la literatura y los talleres de expertos confirman que los desafíos más importantes que se presentan tras una intensa década de desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental e indicadores de desarrollo sostenible, son:

1. El costo que importa desarrollar un sistema de IDS de calidad, y operarlo a lo largo del tiempo.
2. La insuficiente valoración del potencial que estos IDS tienen como herramientas en la toma de decisiones por parte de la mayoría de los gobiernos de la región, en relación a otras prioridades en la agenda pública.
3. Los problemas metodológicos del trabajo de diseño e implementación de indicadores, en particular el insuficiente carácter sinérgico o vinculante que tienen los IDS hasta ahora

propuestos o implementados, que lo hacen muy bien en el sentido de indicar las cuatro dimensiones del Desarrollo Sostenible (DS), pero menos bien a la hora de generar más significado utilizando un número inferior de indicadores vinculantes o de tercera generación.

Adicionalmente, se pueden mencionar los siguientes desafíos que enfrentan los países de América Latina y el Caribe:

4. Que se ven enfrentados a múltiples necesidades y restricciones presupuestarias, lo que hace aún más necesario abordar estos desafíos con imaginación y en forma cooperativa. Confluyen los deseos de la ciudadanía, y crecientemente de gobiernos, para contar con señales claras y objetivadas que permitan darse cuenta, en forma oportuna, del nivel de avance respecto del desarrollo sostenible, de forma que se pueda enmendar el rumbo. Pero medir esta necesidad topa con el esfuerzo económico que requiere fundar un mínimo equipo humano, técnicamente competente, a cargo del desarrollo y operación de estos indicadores para que pueda haber garantías de calidad.

5. Además, los países enfrentan el desafío científico, metodológico y creativo de avanzar en la medición de un proceso que aún se está definiendo conceptualmente, y que por tanto presenta dificultades fuertes para que se concrete hasta un nivel que permita la cuantificación de fenómenos altamente complejos y dinámicos. En parte esto tiene que ver con elementos formativos y paradigmáticos, pues haber sido formados en un paradigma científico especializado y reduccionista ha generado una relativa escasez de capital humano transdisciplinar, y también de financiamiento para apoyar sus iniciativas. Pero igualmente importante, genera el desafío de que se trabaje también en crear las condiciones político-institucionales para que las propuestas funcionen en la realidad, en forma progresiva y/o secuenciada.

El desarrollo y la implementación de los IDS exigen la combinación inteligente de estas tres fuerzas motrices. La región necesita estos instrumentos, y está en la voluntad y creatividad desarrollarlos con calidad, en el plazo más breve que sea posible (Castro, 2020).

Para la presente investigación se asume un sistema conceptual de indicadores ambientales que aplican para los agrosistemas de montaña cubanos, atendiendo a las características contextuales y espaciales del agrosistema objeto de estudio, que se limitan solo a los que en términos ambientales se consideren, sin abarcar otros de incidencia directa en lo económico-social que puedan afectar en su evaluación. Estos indicadores se sustentan en investigaciones internacionales y nacionales dirigidos a evaluar:

- Protección y Conservación de Fuentes de Agua
- Erosión
- Cobertura vegetal del suelo
- Superficie de suelo con riesgo de desertificación
- Biodiversidad
- Calidad de las aguas
- Destino de Aguas Residuales
- Compactación del Suelo

Capítulo 2: Materiales y métodos

La investigación se desarrolló, en el período comprendido desde enero a octubre del 2023. Para medir los indicadores se tuvo en cuenta la referencia de indicadores de eficiencia en cada variable analizada. Se realizaron entrevistas y encuestas a directivos, técnicos y productores, además se empleó la revisión de documentos y la base de datos económica y productiva.

2.1 Caracterización del agrosistema de montaña El Mamey

Captura de información primaria y secundaria a través de entrevistas, encuestas a productores, directivos, técnicos en general del agrosistema, la observación directa en el terreno, así como la revisión de documentos y base de datos económica y productiva de organismos que aporten elementos significativos a la investigación (CITMA, MINAGRI, ENIA, EMA, FORESTAL).

2.2 Determinación de los indicadores ambientales

Los indicadores para la evaluación, partieron de la adecuación de las existentes en la teoría estudiada, teniendo en cuenta las condiciones nacionales y los indicadores que se trazaron. El conjunto de indicadores definidos tiene puntos de coincidencia con trabajos similares realizados en distintas partes del mundo y Cuba (Socorro Castro, 2016; Lefroy y Hobbs, 2016; Murillo, 2017; Noguera, 2017; Murgueitio 2020; Chaviano, 2019; Vanslembrouck, Van Huylenbroeck y Verbeke, 2021).

Indicadores ambientales a evaluar

- **Protección y Conservación de Fuentes de Agua (PCFA). (%)**

Con datos aportados por la delegación del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) en el territorio, las evidencias sobre el grado de protección y conservación de fuentes de agua fueron observadas directamente en los sitios de ubicación del pozo alimentador del agua potable y las cañadas y humedales localizados en cada una de las áreas analizadas. Las mediciones realizadas fueron a través de una escala, con la asignación de un valor numérico a diferentes grados de presencia de bosque protector, que fue desde 0% hasta más de 75%. El muestreo se realizó por medio de un recorrido en el sitio de ubicación de la fuente y se estableció con base a un porcentaje de área.

Se calculó a través de la siguiente formula:

$$PCFA=AF/AT*100 \quad (1)$$

Donde:

AF= área forestal

AT= área total

- **Erosión (E). %**

Con asesoramiento del Departamento de Estudios geotécnicos in situ de la Unidad de Investigaciones Cienfuegos de la ENIA, las evidencias de procesos erosivos fueron observadas en las áreas dedicadas a cultivos en rotación y medidas a través de una escala, en esta medición se asignó un valor numérico de 0–4 a diferentes características de erosión propias de estos sistemas. Se seleccionaron 10 áreas al azar, dentro de los que iniciaron el período de descanso agrícola, en cada área fueron realizados dos recorridos en diagonal, con 2 puntos de observación, es decir, 20 observaciones en general, se determinó el número de observaciones por característica de evidencia de procesos erosivos y se halló un promedio ponderado de calificación para cada área.

Se calculó a través de la siguiente formula:

$$Xp= \sum pi*ni / \sum ni \quad (2)$$

Donde

pi=puntos de incidencia

ni=número de incidencias

- Factor de la Lluvia
- Erodibilidad del Suelo
- Pendiente
- Factor de Tipo de Cultivo
- Factor de Labranza
- Factor de Prácticas de Conservación

- **Cobertura vegetal del suelo (CVS). %**

Con datos aportados por la delegación del Ministerio de la Agricultura en el territorio, en el cálculo de la cobertura vegetal del suelo se tuvo en cuenta el total de área forestal dividido entre el área total del agrosistema y multiplicado por 100, luego se multiplicó por el % de tiempo que

se mantuvo el sombreado (en este caso se midieron los 3 meses de primavera, entre los 12 meses del año).

Se calculó a través de la siguiente formula:

$$CVS = (TAF/AT \cdot 100) \cdot (\% t) / 100 \quad (3)$$

Donde

TAF=total de área forestal

AT=área total

- **Superficie de suelo con riesgo de desertificación (SSRD). %**

Con asesoramiento del Departamento de Estudios geotécnicos in situ de la Unidad de Investigaciones Cienfuegos de la ENIA, en el cálculo de la superficie de suelo con riesgo de desertificación, se tuvo en cuenta la cobertura vegetal del suelo, valores históricos de escurrimiento y humedad en la región, con datos de la Delegación Municipal del MINAGRI en Cumanayagua.

- **Biodiversidad (B). %**

Con datos aportados por la delegación provincial del CITMA, en el cálculo de la biodiversidad se tuvo en cuenta los cultivos y animales introducidos para la producción y la flora y fauna que colonizó la región en que se encuentra el agrosistema. Los indicadores seleccionados abarcaron tres aspectos: riqueza de especies, diversidad de la producción y diversidad de árboles. Para medir la riqueza de especies se empleó el índice de Margalef (índice de riqueza específica, RI), cuyo valor normal debió estar entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideraron bajos y superiores a 3 altos. Para medir la diversidad de árboles (índice de biodiversidad específica, H), cuyo valor normal debió estar entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideraron bajos y superiores a 3 altos.

Se calculó a través de la siguiente formula:

Índice de Margalef

$$Dmg = (S-1) / \ln N \quad (4)$$

Donde

S=riqueza y número de especies

N=número total de individuos de la muestra

- **Calidad de las aguas (CA). B, R, M**

Para medir la calidad de las aguas, se realizaron tres muestras y se tomó el valor ponderado total en cada parámetro. Las muestras se realizaron de fuentes de agua diferentes y consideradas las más afectadas (Muestra 1 (m1): Pozo; Muestra 2 (m2): Arroyo; Muestra 3 (m3): Manantial. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de la Planta Potabilizadora Los Filtros de Cumanayagua, con un equipo Fotoanálisis Dinko- D 105, emitiéndose una certificación de Prueba de H₂O.

Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Coliformes fecales
- ✓ Residuos de cloro u otros desinfectantes
- ✓ Nitratos
- ✓ Ph
- ✓ Sodio
- ✓ Sulfato
- ✓ Turbidez Nefrolométrica

- **Destino de Aguas Residuales (DAR). B, R, M**

El destino de aguas residuales se obtuvo con información directa en las entrevistas, se corroboró con observaciones de campo y fue medida a través de una escala ordinal donde se asignó un valor de 1 a 3, a diferentes destinos de las aguas residuales.

Índices de la FAO

- Tanques colectores
- Laguna de oxidación
- Alcantarillado

- **Compactación del Suelo (CS). Kg/cm²**

Con asesoramiento del Departamento de Estudios geotécnicos in situ de la Unidad de Investigaciones Cienfuegos de la ENIA, en el cálculo de la compactación del suelo se realizó un muestreo aleatorio en zig-zag, con 10 repeticiones en cada área (Ver figura 2). Atendiendo a la variabilidad a que pudo estar sometida la compactación por procesos físicos, químicos y mecánicos, se tomó la decisión de realizar las mediciones en áreas con igual similitud dentro de los siguientes parámetros: humedad natural, relieve igual, área con más de dos años sin laboreo,

Se empleó un marco de 0.5m X 0.5m, esta variable fue medida con un penetrómetro de bolsillo el cual se aplicó en el centro del marco, con mediciones orientativas.

$$CS=r*vp \text{ (5)}$$

Donde

r=repeticiones

vp =valor de penetración

- **Evaluación general del agrosistema**

Se empleó la Metodología de Áreas Medioambientalmente Frágiles (AMFRA, 2018) de la FAO

Tabla 1

Metodología de Áreas Medioambientalmente Frágiles (AMFRA, 2018)

Escala	Nivel de fragilidad	% de eficiencia	Intervención irreversible de carácter antrópico
5	Muy frágil	0-49	Alta
4	Frágil	50-59	Muy alta
3	Medianamente frágil	60-69	Medianamente alta
2	Poco frágil	70-79	Poco baja
1	No frágil	80-100	Baja

Para calcular el % de eficiencia se tuvo en cuenta el total de indicadores evaluados y dentro de ellos los indicadores afectados, para determinar la diferencia aritmética que conlleva a la eficiencia a medir. Se aplicó la siguiente fórmula.

$$EG=TIA/TIE*100-100 \text{ (6)}$$

Donde TIE=indicadores evaluados

TIA=indicadores afectados

Capítulo 3: Resultados y discusión

3.1. Caracterización del agrosistema de montaña El Mamey en Cumanayagua

El Mamey es un asentamiento rural perteneciente al Consejo Popular Crucecitas, en el municipio Cumanayagua (provincia de Cienfuegos). Cuenta con un total de 131 viviendas y 281 habitantes. Se localiza en los 22° 03' 20" de latitud norte y a los 80° 08' 40" de longitud oeste. Se encuentra a 590 msnm (metros sobre el nivel del mar). Su vía de acceso se intercepta en el asentamiento Entronque de Minas con la carretera de Cumanayagua a Manicaragua, a 15,3 km. al sureste de la cabecera municipal (Cumanayagua).

Su actividad económica fundamental es el cultivo del café, la actividad forestal, la ganadería, los cultivos menores y los servicios para la propia comunidad. El área con interés agrario (441.4 ha), objeto principal de la investigación, cubre las dos formas de producción en el territorio: la CPA Hermanos Hurtado y la UBPC, con otras aledañas de importancia económico-social para su desarrollo.

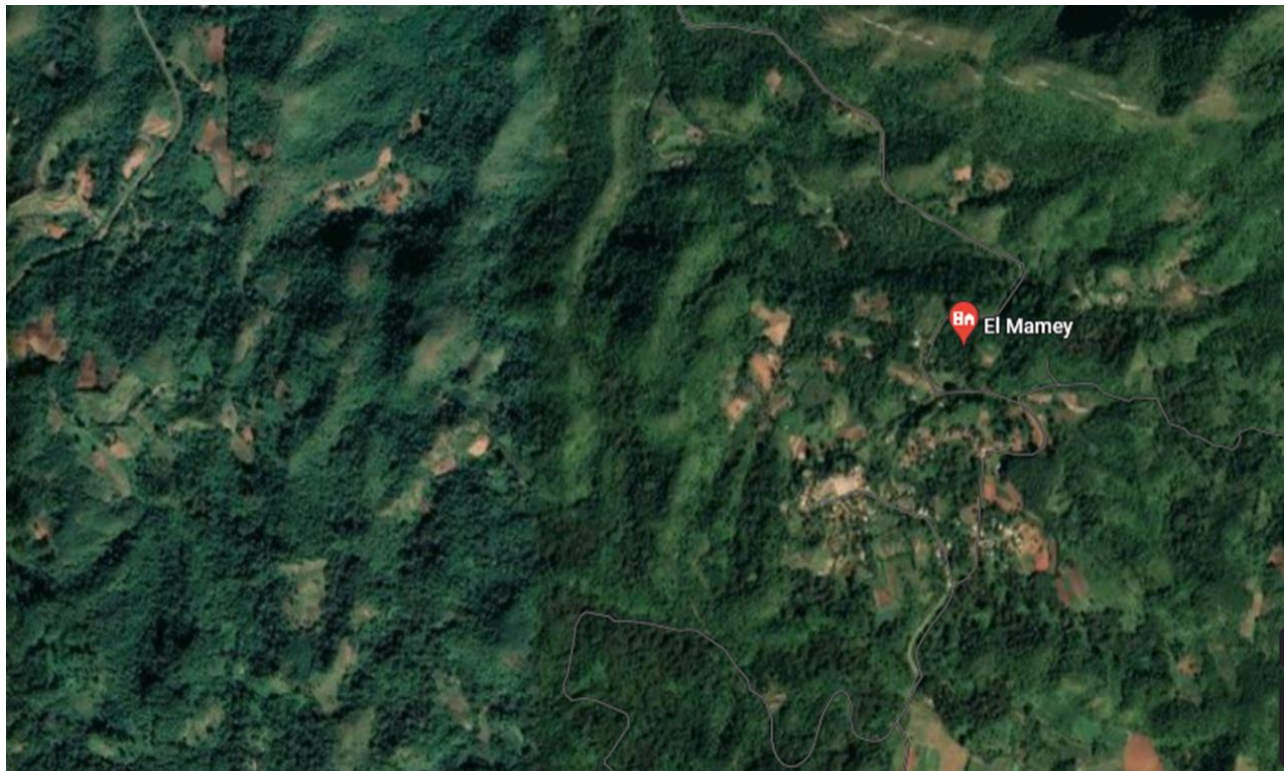


Figura 1. Ubicación del área del Mamey. Elaboración propia.

Según datos aportados por el delegado de la comunidad, el agrosistema El Mamey posee características edafoclimáticas representativas de la comunidad. Cuenta con una superficie total de 48,72 ha y un total de 131 viviendas con 281 habitantes. La distribución por género asciende a 46,8% para el género femenino y una edad media de 41 años.

El 79% de las personas que habitan el agroecosistema se encuentra en edad laboral; sin embargo, solamente el 28,9% labora directamente en él, lo cual limita el progreso del agroecosistema. En el agrosistema existen dos formas de producción organizada (CPA y UBPC). El consumo alimenticio diario de los pobladores provenientes de la canasta básica y las producciones propias de la finca, este excede lo establecido a nivel nacional.

Entre las características físico-geográficas de importancia a analizar, en la región donde se enclava el agrosistema, se encuentran: temperatura media anual, insolación media (horas/días), precipitación media anual (mm), período lluvioso (mayo-octubre), promedio de días con lluvias, evaporación media anual, velocidad del viento predominante (m/seg) que influyen directamente en el agrosistema y sus condicionantes ambientales.

Tabla 2. Caracterización del Mamey. Delegación Municipal del MINAGRI Cumanayagua (2023)

Indicador	Valores
Ubicación	El Mamey (Consejo Popular Crucecitas), Cumanayagua
Viviendas	131
Habitantes	281
Coordenadas	22° 03' 20" de latitud norte y a los 80° 08' 40" de longitud oeste.
msnm	590 msnm
Distancia de la cabecera municipal	15,3 km. al sureste de la cabecera municipal
Actividad económica	café, forestal, ganadería, cultivos menores
Área con interés agrario	441.4 ha.

Formas de producción	CPA Hermanos Hurtado y la UBPC Mamey
Temperatura media anual	Enero (invierno, 20-21 °C) Julio (verano, 25-27°C)
Insolación media (horas/días)	6,9, con una mínima en diciembre de 6,4.
Precipitación media anual (mm)	1600-1900
Período lluvioso (mayo-octubre)	75-80% de la anual
Promedio de días con lluvias	≥1mm 90-120.
Evaporación media anual	entre 1400- 1800 mm.
Velocidad del viento predominante (m/seg)	3,3-3,9

Entre las características que presenta el agrosistema en estudio, se corresponde con las que la sitúan en condiciones de montaña para Cuba. Criterios de otros autores consideran que el clima, constituye un factor de obligada utilización en la evaluación del medio físico para la planificación territorial de las actividades en condiciones de montaña por la fragilidad de estos ecosistemas (Pujol, 2017; Hernández, 2018; Beltán, 2020).

Según Pérez, (2018) y Kalomenski, (2019) los factores climáticos predeterminan la influencia de las lluvias, las variaciones de temperatura y la acción de los vientos, sobre la erosión, activación de los deslizamientos, torrentes de lodos, cambio en las propiedades de las rocas, traslado de polvo y desechos hacia los poblados, así como es importante en la elaboración de modelos racionales de lucha contra fenómenos desfavorables que puedan surgir

Atendiendo a la ubicación geográfica de Cuba y a su posición altimétrica, la variable climática que mayor incidencia tiene sobre las afectaciones que se producen a los suelos en las montañas, planteado en investigaciones realizadas por Guardado, Ulloa, Bustamante (2021), son las lluvias, pues las oscilaciones de temperatura, tanto a nivel de las estaciones del año como en función de la altura, no son significativas en comparación con la influencia de estas.

Álvarez et al., (2018) plantea que el clima, además de constituir uno de los principales componentes del paisaje físico – geográfico, influye de forma favorable o no en numerosas actividades socioeconómicas. Esta influencia, en primer lugar, se caracteriza por su carácter complejo, dado por la simultaneidad de la acción de los diferentes elementos climáticos, lo que

tiene aplicación particular en la agricultura y en general en las condiciones de vida de la población. Una de las limitaciones más serias para las explotaciones agrícolas corresponde a factores climáticos, tales como períodos de sequía prolongada y precipitaciones de gran intensidad mal distribuidas.

El rendimiento agrícola del cafeto, renglón económico del agrosistema objeto de estudio de esta investigación, se encuentra relacionado, entre otros factores, con las condiciones climáticas y las precipitaciones; el análisis de estos como elemento potencial del rendimiento, evidencia que el territorio presenta condiciones favorables para su desarrollo, estos resultados coinciden con la clasificación de Köppen modificada por Trewartha (Finch et al., 1957 citado por Wilsie, 2017) el agrosistema El Mamey presenta un clima Tropical húmedo, con lluvias todo el año. Sin embargo, es explicable que en presencia de limitaciones edáficas o de otro tipo no sea posible alcanzar el valor máximo de la producción.

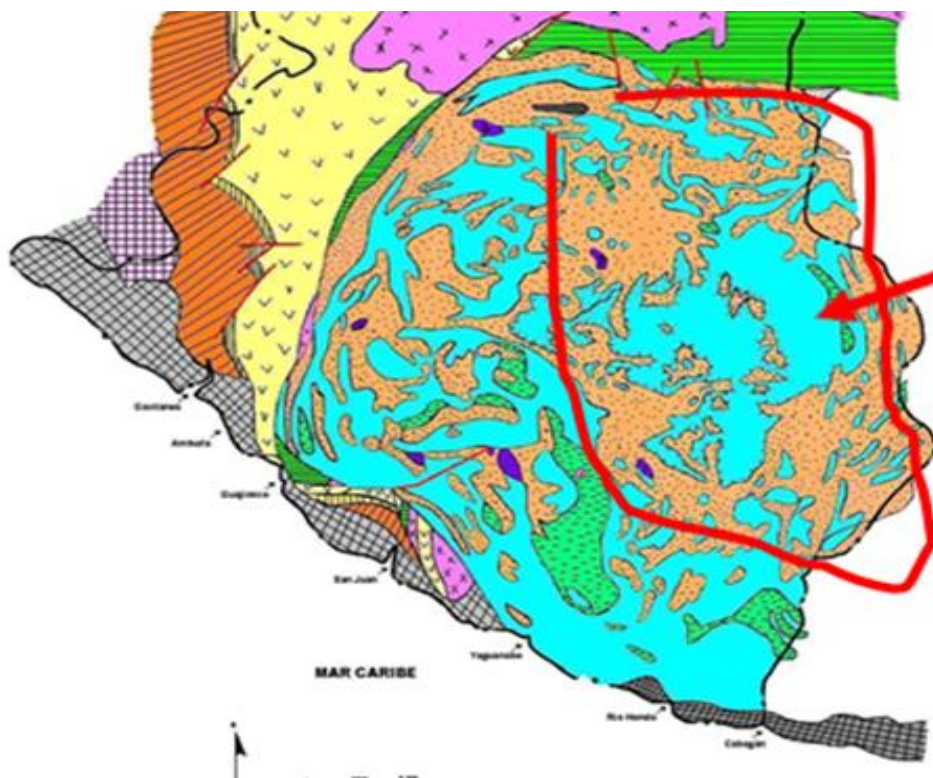


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio. Espinosa (2011)

El mapa geológico presentado por Espinosa (2011), expone la geología de los suelos del área de estudio, constituida sobre formaciones geológicas de origen volcánico y plutónico conformando suelos tipo Ferralíticos Rojos, formados a partir de granitoides, con un proceso de sialitización que conduce a la formación de una mezcla de minerales arcillosos con acumulación de cuarzo y ferdespato en el esqueleto del suelo acompañado de la formación de óxidos de hierro, suelo con estructura terrosa, con una composición mecánica en la que predominan las fracciones gruesas.

Guardado, Ulloa, Bustamante (2021), exponen que el análisis geológico de los agrosistemas es de vital importancia, ya que el relieve constituye uno de los factores a considerar en el proceso de formación y desarrollo de los suelos, influyendo además en la distribución del calor y la humedad. El de Cuba está condicionado por su posición en el arco insular de las antillas, en la zona de interacción de las placas de América del Norte y del Caribe, por su ubicación en el borde septentrional de la zona de los bosques tropicales periódicamente húmedos y por la influencia de las oscilaciones paleoclimáticas del Cuaternario.

Lo anterior, determina la heterogeneidad, complejidad, carácter y desarrollo de los elementos morfoestructurales y morfoesculturales. A pesar de que estos tienen gran importancia desde el punto de vista de la estructura geológica, desempeñan un papel muy limitado en la conformación del plano morfoestructural debido a la vigorosa reconstrucción neotectónica.

Como resultado de los ascensos neotectónicos débiles y moderados se fue elaborando su morfología bajo control estructural. Dado el carácter diferenciado e interrumpido de los levantamientos neotectónicos, se destacan escalones morfoestructurales, y que desde el punto de vista geomorfológico se distingue como forma del relieve premontañas con alturas que no sobrepasan los 300 m, constituidas de serpentinitas por emplazamiento tectónico y rocas no carbonatadas con desigual desarrollo cárcico (Guardado, Ulloa, Bustamante, 2021).

Caracterización del suelo

En la caracterización del suelo se tuvieron en cuenta los indicadores de pH, el porcentaje de materia orgánica, la fertilidad natural, graviliosidad, profundidad efectiva, el óxido de fósforo (P_2O_5) y el óxido de potasio (K_2O).

Se revisó el análisis agroquímico realizado por la Estación Experimental de Suelos de Barajagua con criterios de la Segunda Clasificación de los suelos de Cuba (IS, 1988), tomado de datos

aportados por la Delegación Municipal del MINAGRI Cumanayagua (2023), en el cual se identificó los indicadores, valores y gradación, cuya información se organizó en la tabla 3.

Se trabajó sobre un suelo Ferralítico Rojo, Textura franco arcilloso con las siguientes características.

En cuanto al contenido de Materia Orgánica, los análisis de la Estación Experimental de Suelos de Barajagua, arrojaron 3,9 %, calificado como bajo, típico de esta región, donde existen dos tipos de suelos asociados con la producción cafetalera: Ferralítico rojo lixiviado y Ferralítico rojo amarillento lixiviado en condiciones de montaña, estas características coinciden con resultado de Hernández et al., (1999). Estos suelos han sido considerados de baja fertilidad, por presentar bajos contenidos de Fósforo y Potasio, baja capacidad de intercambio catiónico (entre 10 – 12 meq/ 100g) y Aluminio cambiante, en dependencia del grado de acidez.

La materia orgánica es una reserva muy importante de nitrógeno disponible, contiene hasta 65% del P total presente en el suelo y es una fuente importante de nutrientes imprescindibles para el buen desarrollo de las plantas. Además, el suelo puede obtener otros como fuente de la actividad metabólica por parte de los microorganismos, teniéndose como resultado un mejoramiento en la estructura del suelo, y dado esto, las propiedades físicas también pueden ser alteradas (González y Delgado, 2014)

Tabla 3. Caracterización del suelo. Delegación Municipal del MINAGRI Cumanayagua (2023)

Indicador	Valores	Gradación
pH	4.0 y 4.5	Ácido
MO%	3%	B
Fertilidad natural	95,80%	B
Graviliosidad	3.76%	B
Profundidad efectiva	65,44	B
P ₂ O ₅	10,28mg/100g	B
K ₂ O	11,67mg/100g.	B

Según criterios de Hernández, Vantour, Morales, Soto, Garea, Baisre, (2019), los suelos Ferralíticos se encuentran principalmente en la región premontañosa (200-400 m, Ferralíticos Rojos y Ferralítico Rojo Lixiviado) y montañosa (mayor de 400 m, principalmente Ferralítico Rojo Amarillento Lixiviado), como es el caso que ocupa esta investigación en el agrosistema de montaña con la presencia de suelos ferralíticos rojos con textura franco arcilloso.

Por sus características de buena fertilidad en condiciones naturales, profundidad y consistencia friable, estos suelos se utilizan rápidamente en la agricultura. Ellos son adecuados para el cultivo del café, pero debe tenerse cuidado con tres cosas: fijación de fósforo, disminución del contenido de la materia orgánica y desarrollo rápido de los procesos erosivos (Pérez, 2019; García, Hernández, Fuentes, Álvarez y Krasilnikov, 2020).

Navarrete, Vela, López, Rodríguez (2020), en sus investigaciones declaran que la calidad del suelo es dinámica y puede cambiar en el corto plazo, de acuerdo con el uso y prácticas de manejo, y para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo.

La evaluación de la calidad del suelo permite entender y revertir el deterioro en dicha funcionalidad ecosistémica, como sucede con: la pérdida de suelos por erosión, depositación de sedimento por viento e inundaciones, reducción de la infiltración, compactación de la capa superficial, pérdida de nutrientes, efecto de la presencia de pesticidas, cambios en el pH, aumento de la solubilidad de metales pesados, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica, infestación de organismos patógenos y reducción de la calidad de agua.

3.2. Determinación de los indicadores ambientales

- **Protección y Conservación de Fuentes de Agua (PCFA).**

Se constató que las evidencias sobre el grado de protección y conservación de fuentes de agua, indicaron el 38.5% de área con presencia de bosque protector, esto indica la presencia de 14.8 ha de área forestal, que lo calificó con buena presencia del mismo.

Estos resultados coinciden con criterios de Andreoli y Tellarini (2018), Bossel (2017) y Álvarez y Arias (2018), quienes ubicaron esta variable con presencia importante de bosque protector en una escala desde 0% a 75%.

Se corrobora la importancia de esta variable en investigaciones nacionales, Centro de Estudios para el Desarrollo de la Producción Animal de la Universidad de Camagüey, (Cuba. CEDEPA,

2018), donde se determinó el grado de conservación de las fuentes naturales de abasto de agua para uso agropecuario, con resultados que oscilaban entre baja y media presencia de bosque protector, en áreas con promedio de temperatura de más de 25⁰ y una insolación media mayor que 6,0.

De igual forma en investigaciones realizadas por investigadores internacionales (Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad San Francisco de Quito, 2018), se determinó que solo el 3,5% de un área de 533 km², tenía presencia de bosque protector, producido por una incesante deforestación que se estaba dando en las áreas de protección de los recursos hídricos del sector.

CARE Internacional (2022), en el Manual de protección de fuentes de agua con participación comunitaria, expone que las condiciones idóneas para asegurar una fuente saludable son aquellas generadas por un ambiente enteramente natural, conformado por la vegetación nativa del área; son estas condiciones las que favorecen la diversidad biológica adecuada, que genera a su vez condiciones óptimas para la infiltración y retención de agua de las cuencas hidrográficas.

- **Erosión (E).**

La erosión resultó con un promedio ponderado de calificación de 1,2, que ubicó el agrosistema con característica de erosión superficial incipiente. Criterio coincidente con Ríos (2018), quien califica esta variable en una escala de 0 a 4 que va desde ausencia de erosión hasta erosión con formación de terracetas.

En comparación con otras investigaciones, (Shpritz et al., 2018 y Pimentel et al., 2019), el criterio de evidencia de procesos erosivos, fue mayor, en condiciones diferentes en cuanto a actividades humanas o antropogénicas, resultando ser, en otra escala propuesta, alta la presencia de erosión. Investigaciones, tanto nacionales como internacionales, con respecto a la erosión, indicaron que las actividades humanas como la agricultura aceleraron los procesos erosivos (Mella, 2017; Colina, et al., 2019 y Hunder, et al., 2020).

En trabajos investigativos en otras áreas nacionales (Martínez, et al., 2018), se observó en áreas agropecuarias, procesos erosivos por deficiente cobertura vegetal del suelo, que lo ubicaban, en la misma escala empleada en esta investigación, en una calificación de 4: erosión con formación de terracetas, proceso negativo para el desarrollo eficiente de la actividad agroeconómica.

Criterios de EOS Data Analytics (2023), una herramienta digital de agricultura de precisión para ayudar a los agricultores a evaluar a distancia la salud de sus cultivos, reducir los costes de exploración, realizar análisis del suelo, gestionar su explotación agrícola y utilizar semillas y fertilizantes de manera más eficiente, coinciden en esta investigación con las prácticas agrícolas que pueden provocar la erosión del suelo debido a la reducción de la biodiversidad, tanto en la variedad de la vegetación como en los microorganismos del suelo.

A su vez, la falta de materia orgánica y de biota beneficiosa repercute negativamente en la fertilidad de los campos porque no sólo se lleva las partículas de tierra, sino también los nutrientes de los campos desnudos. Las principales causas de la erosión del suelo debido a una mala gestión de las explotaciones agrícolas son la fertilización o el riego excesivos, la labranza convencional, el monocultivo, el sobrepastoreo, etc.

La erosión constituye el principal impacto negativo que ocasiona el uso agrícola de estos suelos, la que comenzó a generarse con la eliminación de la cubierta natural para el fomento de las plantaciones y se acrecienta con la incorrecta aplicación de determinadas prácticas agrícolas. El suelo es un material dinámico, sujeto a permanentes y constantes cambios.

Así Morales (2019), plantea que la remoción y distribución de las partículas de suelo constituye un fenómeno natural, que se inicia a partir de la formación del planeta y que cuando el equilibrio natural no se ha perturbado, el proceso se desarrolla con un ritmo tal que la remoción de partículas se equilibra, en términos generales con la formación de un nuevo suelo.

Al intervenir el hombre con el objeto de explotar el suelo para su provecho, altera este equilibrio al destruir la vegetación protectora, facilitando la acción del agua y el aire que provoca la formación de zanjas, cárcavas y la presencia de subsuelo descubierto, todo lo cual disminuye la productividad de las áreas de cultivo (Castillo, Laurens y Barceló, 2019).

Las investigaciones llevadas a cabo por diferentes instituciones, entre las cuales se podría citar al Instituto de Suelos (2017), el Instituto de Investigaciones Forestales (2018), la Universidad Agraria de la Habana (2018, 2019, 2022), la Universidad de Sancti Spíritus (2021), indican que el problema de la erosión en Cuba no tiene carácter local, sino que aunque con diferente magnitud, se extiende por amplias extensiones del espacio geográfico cubano, reportándose un total de 4 millones de hectáreas afectadas, cifra que por demás tiene la tendencia a seguir incrementándose si no se toman las medidas necesarias para su control.

- **Cobertura vegetal del suelo (CVS).**

La cobertura vegetal del suelo en el periodo lluvioso resultó ser de un 9,0%, considerándose alta. Van Calker, Berentsen, Romero, Giesen y Huirne (2018), así como Urdaneta, et al., (2019) y Tisdell (2020), expusieron coincidentemente con este resultado, ya que el suelo tiene que mantenerse sombreado la más alta cantidad de área todo el año.

En otras investigaciones se expresa que en áreas agrícolas el uso de las coberturas vegetales es sumamente importante ya que reducen la erosión del suelo, sobre todo en terrenos de fuertes pendientes (Loch, 2018). En áreas excluidas bajo condiciones de lluvia natural el efecto de la cobertura vegetal sobre el proceso erosivo, la combinación de un cultivo tupido o pasto en combinación con nopal resultó ser la práctica más efectiva en la reducción del proceso erosivo en comparación con monocultivos como pasto, nopal denso o este último en combinación con coberturas bajas o medianas (Serna y Echavarría, 2019).

Los cultivos tupidos de alta densidad presentan valores significativamente más eficientes en el control de la erosión y escurrimiento superficial (78% y 65% respectivamente) (Ríos y Martínez, 2019). Solano, et al. (2020) para suelos de tepetate encontraron que las pérdidas anuales de suelo varían de acuerdo al uso del suelo y porcentaje de cobertura vegetal.

Otras investigaciones que exponen que la pérdida de la cubierta vegetal entre un 30 y un 50%, es el primer paso del proceso de deterioro del suelo; si este no se controla a tiempo, provocará que el paisaje se desertifique (Stocking y Murnaghan, 2018). Igual que ha ocurrido en esta investigación, la medición de la variable CVS, está estrechamente relacionada con la degradación del suelo, como término difícil de visualizar y entender. La mejor forma de saber si un suelo se está degradando es conociendo la dinámica de sus propiedades; esto significa que es necesario realizar monitoreos periódicos de indicadores (Van Lynden y Kuhlman, 2022).

- **Superficie de suelo con riesgo de desertificación (SSRD).**

Con respecto a la superficie de suelo con riesgo de desertificación, el índice de cobertura vegetal del suelo resultó ser de 9,0 considerándose alta según criterios de Ríos Atehortúa (2018). Como índice histórico de escurrimiento en la región: 0,60, evaluado de Bien por estar por debajo de 1,00, según criterios de Ríos Atehortúa (2018). El índice de humedad histórico fue de 1,015,

evaluado de Bien por encontrarse por encima del valor aceptado, según criterios de Ríos Atehortúa (2018).

Los resultados indicaron que no existe riesgo alto de superficie de suelo afectado por la desertificación, por alta cobertura vegetal del suelo y la permanencia de humedad en el mismo. En otras investigaciones como la realizada por Costa, et al (2018), se indicó que un alto porcentaje de los riesgos de desertificación ocurrieron por la destrucción de su cubierta vegetal, de la erosión del suelo y de la falta de agua; con alta frecuencia el ser humano favoreció e incrementó este proceso como consecuencia de actividades como el cultivo y el pastoreo excesivos o la deforestación.

En consonancia con otras investigaciones, la mayoría de las propiedades evaluadas no mostraron variación estadística significativa con respecto al tiempo. Esto quiere decir que se necesita más años de monitoreo para entender los riesgos de desertificación; la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, 2021) y Paz et al. (2022) señalan que para monitorear las propiedades del suelo se requiere hacer observaciones por lo menos durante cinco años.

- **Biodiversidad (B).**

El índice de riqueza específica fue de 3,5, considerado alto según el índice de Margalef (Pla, 2018), que expone que su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos. El índice de biodiversidad específica fue de 3,6, considerado alto, según Pla (2018). En el análisis de otros criterios se considera ambos índices adecuados para este estudio, según expresan Pla (2018) y Ros (2018), quienes consideran alta la biodiversidad y la riqueza específica de una región con la presencia de variedad de cultivos y animales introducidos junto a otros que colonizan la zona.

Otros investigadores, como Hart (2017) y Vandana (2018), abogaron por mantener agrosistemas sustentables, en áreas con sistemas ecológicos y orgánicos e insumos naturales, por ejemplo, semillas producidas por los propios agricultores o fertilizantes orgánicos producidos en las propias áreas. En esta investigación se corroboraron estos criterios con los cultivos introducidos en la producción del agrosistema como el boniato (*Ipomoea batatas* L.), la yuca (*Manihot aipi* L.), el maíz (*Zea mays* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la malanga (*Colocasia esculenta* L.), entre otros.

- **Calidad de las aguas (CA). B, R, M**

En el análisis realizado a tres muestras de agua, como se observa en la figura 1 , la calidad de las aguas se evaluó de Regular, por la presencia de coliformes fecales que implicaron contaminación en el control de calidad del agua destinada al consumo humano y animal en consonancia con criterios de Vargas de Mayo (2018) y Diersing (2019), quienes expusieron en sus investigaciones, que en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal; por tanto, su presencia indicó que el agua era bacteriológicamente insegura.

Con respecto al número de Unidades de Turbidez Nefelométrica (UTN), resultó ser de 4 UTN, aunque no se consideró alto, pudo estar provocada por la presencia de sedimentos procedentes de la erosión; presencia de sedimentos resuspendidos del fondo o la descarga de efluentes y las escorrentías mezclados en el agua que se analizó, criterio que también defendieron los investigadores (Vargas de Mayo 2018 y Johnson, et al. 2019).

En otras investigaciones (Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, 2018), se expusieron la presencia de turbidez en las aguas analizadas, con valores mayores a 5 UTN, criterios de calidad inadmisibles en la destinación del agua para la preservación de la fauna y flora. Coinciden, en esta investigación, criterios de que la calidad del agua de un recurso hídrico es el conjunto de sus características físicas, químicas y composición y estado de los organismos que en habitan en él (Chapman, 2019).

Sin embargo, en general se define de acuerdo a su uso potencial comparando estas características con valores estándares que se consideran requisitos para asegurar su uso correcto (De León, 2021). Los sistemas acuáticos presentan diversos servicios ecosistémicos, destacándose el abastecimiento de agua potable, riego, consumo animal, recreación y purificación de las aguas.

La mala gestión de los sistemas hídricos puede afectar su calidad del agua, generar procesos de eutrofización (aumento de fósforo y nitrógeno que son los nutrientes limitantes de producción primaria), desequilibrios tróficos, inundación, erosión e impactos sobre aguas subterráneas, entre otros (Molden, 2007). Por tanto, la calidad de agua es un componente fundamental de la calidad ambiental incidiendo en sus distintas dimensiones, biofísica, social y económica.

Herrera Trujillo (2023), coincide en declarar la importancia que tiene la calidad de las aguas, tanto para consumo humano como animal y para los cultivos, en el medioambiente se hace necesario retomar su significado, a partir de los resultados de esta investigación. La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa a todos los países del mundo, desarrollados o no, principalmente por su repercusión en la salud de la población.

En coincidencia con criterios de Herrera Trujillo (2023), en esta investigación se consideran como factores de riesgos a la salud, los agentes biológicos infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica a la que pueden estar expuestos los seres humanos a través de las aguas. Las enfermedades causadas por las bacterias patógenas, los virus y los parásitos constituyen el riesgo sanitario más común y extendido.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2019), muchos compuestos como los alquiflenoles (productos de detergentes de tipo alquifenol) son considerados en la lista de sustancias prioritarias. En esta investigación por análisis realizados a las muestras de agua se encontró residuos de detergentes y otros desinfectantes, con peligro de contaminación a las aguas de uso potable.

Autores internacionales Gohen (2017), Manfred (2017), Onishenko (2018), la Organización Save the children (2022), han expuesto criterios en cuanto a la calidad de las aguas que está matando comunidades enteras, donde la acción antrópica ha llevado al límite máximo, con diferentes parámetros de contaminación, que alteran el agrosistema y lo llevan a un grado de fragilidad alto.

La Organización Save the children (2022), apunta los peligros que representa para la salud humana la presencia de coliformes fecales en las aguas potables y que son potencialmente las causantes de miles de muertes de niños. Este fenómeno es irreversible y está dado por las alteraciones antrópicas en el mal manejo del destino de las aguas residuales.

- **Destino de Aguas Residuales (DAR). B, R, M**

Con respecto al destino de las aguas residuales, los resultados se calificaron de regular pues las aguas residuales van hacia un pozo séptico, con escurrimiento discreto hacia el arroyo donde se consume agua potable, y que en el análisis de la calidad de sus aguas resultó con presencia de coliformes fecales, cloro y otros desinfectantes. En este caso existieron coincidencia en otras

investigaciones, (Álvarez, 2018, Andreoli y Tellarini, 2018, Atance, 2019, Barraza, 2019), que consideraron esta práctica desacertada por ser los coliformes fecales una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos.

La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas servidas u otro tipo de desechos en descomposición (efluentes de tambos). La presencia de altas concentraciones de cloro y otros desinfectantes en las aguas de fluentes terrestres intenta contra la biótica natural de los cauces.

Por otra parte, en investigaciones realizadas sobre el destino de las llamadas aguas negras, Romero Rojas (2018) y Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato, (México. CONCYTEG, 2018), proponían usar, en el lecho de secado, tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

Estudios similares a esta investigación (Rodríguez Pimentel, 2022) exponen que las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial, como es el caso que se presenta con el vertimiento de aguas contaminadas al arroyo, sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna.

En la observación desarrollada estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, no reciben ningún tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados.

Se coincidió con criterios de Ríos Atehortúa (2018), quien expone en una escala de 1 a 4, diferentes prácticas de manejo de las excretas, entre las que incluye la recolección en tanques estercoleros como acertada. Castro y Pérez (2012), consideran esta práctica correcta, por la función que realizan en la prevención de enfermedades de origen hídrico.

Por otra parte Prüss-Üstün et al (2014), propusieron en sus investigaciones el uso de los sistemas ecológicos sanitarios (ECOSAN), que permiten la recuperación de nutrientes de los residuos orgánicos originados de las heces y la orina humana, para ser utilizados en beneficio de la agricultura; contribuyendo así a conservar la fertilidad del suelo, asegurar la seguridad alimentaria para las generaciones futuras, reducir al mínimo la contaminación y recuperar la bioenergía. El grado de tratamiento requerido en cada caso para las aguas residuales deberá responder a las condiciones que acusen los receptores en los cuales se haya producido su vertimiento.

- **Compactación del Suelo (CS). Kg/cm²**

Los datos fueron promediados y con la ayuda de la escala utilizada para evaluar resistencia a la penetración se determinó la medida de esta variable: Baja < 2,0, Media entre 2,0 - 4,0, Alta entre 4,0 - 6,0 y Muy alta > 6.

En la variable compactación del suelo, los resultados se comportaron con una calificación de 2,8 Kg/cm² como promedio, por lo que pudo incidir en la disminución a la aireación del suelo, según criterios de Weissbach y Wilde (2018), Campbell et al., (2019), Hartge (2020). Esta compactación media se produjo principalmente por el paso de animales y personas y la sobreutilización de la maquinaria agrícola, así como su mal manejo durante las operaciones de labranza.

Aunque el parámetro establecido se consideró válido, investigaciones nacionales e internacionales expusieron la afectación a la porosidad del suelo como otro indicador de los cambios de la compactación (Servadio et al., 2018); pues la modificación en el tamaño y cantidad de los poros redujo la capacidad del suelo para el almacenamiento de agua y aire, así como los espacios ocupados por la mayoría de los organismos, limitando además el intercambio gaseoso.

Se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación sobre la compactación de los suelos, con los riesgos, que a criterio de Jhonson y Bailey (2018), pudo causar la compactación excesiva del suelo, mayor a 2,0 Kg/cm², en la afectación adversamente al rendimiento de los cultivos, e incremento de los requerimientos energéticos durante las operaciones de labranza, acelerando la erosión y causado un uso ineficiente del agua y los nutrientes debido a una lenta capacidad de drenaje del subsuelo (Martínez Rodríguez et al., 2018).

Aunque no hay puntos de coincidencia con las pruebas de compactación realizadas en esta investigación, la humedad del suelo es el factor más importante que influye en el riesgo de compactación del suelo (Raper y Kirby 2020).

Los suelos más secos pueden soportar cargas más pesadas sin compactarse. Los suelos con niveles de humedad a la capacidad del campo o por encima tienen el mayor potencial de compactación. El agua actúa como un lubricante entre las partículas del suelo que permiten que el suelo se empuje. Cuanto más espacio de aire es sustituido por agua, mayor es el potencial de compactación, hasta un punto máximo llamado «límite plástico».

Otros investigadores coinciden en expresar que, a niveles de saturación del suelo superiores a este punto, el potencial de compactación de la capa superior del suelo se reduce, ya que el agua no se

puede comprimir. Sin embargo, esto resulta en que la fuerza de compactación se transfiere directamente al subsuelo, aumentando el riesgo de compactación del subsuelo (Duiker, 2020).

Además, tratar suelos demasiado húmedos resulta en una mancha extendida de la capa superior del suelo, que reduce la conductividad hidráulica y puede ser incluso más perjudicial para el crecimiento de las raíces de los cultivos que la compactación (Raper and Kirby, 2020).

Investigadores como Mark Jeschke y Nanticha (2022), coinciden en determinar que la compactación del suelo es una de las formas más graves de degradación del suelo provocadas por la producción agrícola. Como ha ocurrido en esta investigación, sin embargo, a diferencia de otras formas de degradación del suelo, como la erosión o salinización, a menudo, la compactación es difícil de detectar y medir y puede limitar el crecimiento y rendimiento de los cultivos sin presentar síntomas evidentes. Cuando se presentan síntomas, como un crecimiento tardío de los cultivos, una deficiencia de nutrientes o una infiltración insuficiente de agua, pueden atribuirse a otras causas.

En investigaciones realizadas por Hernández et al., (1999) para la clasificación de los suelos de Cuba plantea que los suelos de fácil compactación por el alto nivel de arcilla que presenta en sus propiedades con más de un 40%, hace que sean de un difícil manejo en cuanto a su preparación, pero que son suelos fértiles y profundos con un alto contenido de materia orgánica y un elevado nivel agro productivo.

Martínez (1999), al analizar diferentes niveles de compactación en diferentes áreas, expresa la afectación de las raíces de los cultivos y que sus mayores afectaciones se encontraban a medida que los valores de compactación se incrementaban. La resistencia a la penetración también ha sido frecuentemente utilizada para caracterizar las condiciones físicas para la implantación y desarrollo de cultivos.

Al respecto Threadgill (2018), relacionó la resistencia a la penetración de un suelo con la capacidad de las raíces para colonizarlo. Indicó que valores de índice de cono de 1,5 MPa pueden reducir el crecimiento de las raíces, mientras que valores superiores a 2,1 Mpa lo limitarían.

Tabla 4. Resultados de los indicadores ambientales. Elaboración propia

Variables	Valor óptimo	Valor real	Criterio de eficiencia	
			Sí	No
Protección y Conservación de	Alta presencia de bosque	38.5% (Presencia de	x	

Fuentes de Agua.	protector	bosque protector)		
Erosión.	Ausencia de erosión	1,2 (erosión superficial incipiente)		x
Cobertura vegetal del suelo.	Alta	9,0% (cobertura vegetal alta)	x	
Superficie de suelo con riesgo de desertificación.	Índice de cobertura vegetal del suelo >0,5 Índice de escurrimiento <1,00 Índice de humedad en el suelo >1,00 Bajo riesgo	9,0 (alta) 0,60 (Bien) 1,015 Bajo riesgo		x
Biodiversidad.	Índice RI > 3 Índice H > 3	Índice RI =3,5 Alta Índice H=3,6 Alta	x	
Calidad de las aguas. - Coliformes fecales - Residuos de cloros y otros desinfectantes - Nitratos - ph - Sodios - Sulfatos - Turbidez nefelométrica	Buena 0,00 0,2 a 0,5 mg/l 10mg/l como nitrógeno 6,5 a 8,5 20mg/l 250 mg/l ≤5 UTN (Unidades de Turbidez Nefelométrica)	Regular 0, 001 0.056 0.026 7.6 0.006 0.003 4		x
Destino de Aguas Residuales.	Pozo séptico	Pozo séptico con escorrentía discreta hacia el arroyo		x
Compactación del Suelo.	< 2,0 Kg/cm2	=2,8 Kg/cm2	x	

• **Evaluación general del agrosistema El Mamey**

De ocho indicadores evaluados, resultaron afectados 3 para un 37,5%, que hace una diferencia aritmética que lo ubica en un nivel de eficiencia del 62,5%.

Tabla 5. Resultados de eficiencia de los indicadores evaluados

TIE	TIA	% afectados	% eficiencia
8	3	37,5	62,5

Según la metodología aplicada (AMFRA, 2018), se ubica el agrosistema en una escala de 3, con un porcentaje de eficiencia de 62,5. Aunque se ven afectados solo tres indicadores, esto conlleva a que se ubique en un nivel medianamente frágil. Según la metodología AMFRA (2018), para declarar un área medioambientalmente frágil se ubican los indicadores de intervención irreversible de carácter antrópico, que en el caso de esta investigación van al promedio ponderado de calificación de 1,2, que ubicó el agrosistema con característica de erosión superficial incipiente, a la presencia de coliformes fecales que implicaron contaminación en el control de calidad del agua destinada al consumo humano y animal con un agua bacteriológicamente insegura y el destino de las aguas residuales que van hacia un pozo séptico, con escurrimiento discreto hacia el arroyo donde se consume agua potable, con presencia de coliformes fecales, cloro y otros desinfectantes.

A criterios de Pérez (2018), García (2019), Martínez y Suárez (2020), el proceso de artificialización de los ecosistemas se inicia cuando el sistema antrópico se establece en un sistema natural e interactúa con él, al transformarse las condiciones naturales para adecuarlas a las necesidades de los grupos poblacionales, y esto hace que el agrosistema u otros sistemas naturales se modifiquen y comprometan su fragilidad medioambiental. El sistema antrópico demanda del sistema natural todos los bienes y servicios que este puede ofrecerle para el desarrollo de sus actividades, tendientes a satisfacer sus necesidades.

Existen otros métodos para determinar espacialmente la fragilidad como el método Dávila y McDonald (2017), que plantea que la fragilidad ambiental es el grado de debilidad intrínseca que hace que un ambiente pueda deteriorarse con facilidad; en tanto que la fragilidad ambiental parcial se puede interpretar como el grado de debilidad intrínseca con respecto a una variable ambiental (p.e. geología, paisaje etc). La fragilidad ambiental unificada es la sumatoria algebraica de las fragilidades ambientales parciales. Resulta complejo para esta investigación aplicar la evaluación general del agrosistema de montaña, aunque su análisis resultó de

importancia para poder ubicar el mismo en la escala conveniente de la metodología AMFRA (2018).

Tabla 6. Resultados de la aplicación de la Metodología de Áreas Medioambientalmente Frágiles (AMFRA, 2018)

Escala	Nivel de fragilidad	% de eficiencia	Intervención irreversible de carácter antrópico
5	Muy frágil		Muy alta
4	Frágil		Alta
3	Medianamente frágil	62,5	Medianamente alta
2	Poco frágil		Poco baja
1	No frágil		Baja

Guardado Lacaba, Ulloa Carcassés, Bustamante González (2021), exponen en sus investigaciones que los ecosistemas de montaña constituyen ecosistemas conjugados al contener en sí ecosistemas de diferentes órdenes (clima, suelo, medio geológico, flora y fauna, aguas superficiales y subterráneas, características geomorfológicas). El impacto de cualquier acción antrópica puede ser modificado por otros factores y generar una cadena de impactos a través de los ecosistemas de menor orden. Las causas de que los problemas de erosión en las montañas sean tan importantes, hay que buscarlas, por un lado, en la accidentada topografía que lo caracteriza y la influencia de las condiciones climáticas. En el agrosistema El Mamey, predomina una topografía alomada a fuertemente alomada (Minagri, 2023) y dedica el 69.1 % de las áreas a actividades agropecuarias. Esta antropización repercute en el medioambiente, al transformarlo y amplificar los procesos que se producen de forma natural, pero a un ritmo mucho más lento.

(Lucas 2018; Martínez, 2018; Monzón y Díaz, 2019), exponen que en las montañas hay una estrecha vinculación entre ecosistemas frágiles y dinámicos, degradación ambiental y probabilidades de riesgo, aspectos que coinciden con las condiciones del agrosistema de montaña que se estudia aquí. IDNDR (2020), alude que los riesgos en las zonas de montaña se agravan por la naturaleza del hábitat, la topografía y las dificultades de acceso. Por las mismas razones, la

planificación, la prevención y el tratamiento de los riesgos en las zonas de montaña son netamente más económicos y eficientes que la recuperación después de los sucesos.

En este análisis de los resultados de la evaluación general del agrosistema de montaña El Mamey, corresponde tener en cuenta criterios de García Serrano (2018), cuando expone que el hombre, para hacer agricultura, interviene en los ecosistemas naturales simplificándolos (eliminando numerosos componentes del ecosistema original o interrumpiendo las relaciones que mantenían) y reduciendo por tanto, la diversidad, (complejidad de la estructura), y en consecuencia disminuyendo la madurez (estabilidad del mismo). En términos de la ecología clásica, la agricultura representa una regresión en la sucesión ecológica hacia etapas menos maduras⁴, en las que la relación producción/ biomasa es más alta (alta tasa de renovación) lo que permite una extracción más fácil. Como norma general a mayor simplificación corresponde mayor producción, pero también mayor caída de la estabilidad. Esta caída de la estabilidad se intenta remediar mediante las aportaciones de energía y materiales de fuera del sistema (trabajo humano y animal, combustibles fósiles, fertilizantes orgánicos o minerales, productos fitosanitarios naturales o de síntesis química) que deberán ser mayores cuando mayor sea el estado de regresión. Cuando el efecto de estas aportaciones, por la razón que sea, es una mayor simplificación (mayor inestabilidad) el remedio será aumentarlas, entrando en una dinámica es espiral creciente.

Conclusiones

1. La principal actividad económica del agrosistema de montaña El Mamey es el cultivo del café.
2. El tipo de suelo predominante en el agrosistema de montaña El Mamey es el Ferralítico Rojo con una textura de franco arcilloso.
3. Los indicadores ambientales más afectados fueron la erosión, la calidad de las aguas y el destino de las aguas residuales.
4. Se presenta la evaluación general del agrosistema con un 62,5% de eficiencia, considerado medianamente frágil para accionar en aras de aplicar una acertada política para el aprovechamiento de los recursos de manera consecuente con medidas acertadas espacial y temporalmente.

Recomendaciones

1. Considerar los resultados de la evaluación de los indicadores ambientales para proyectar futuros programas de desarrollo en el agrosistema.
2. Socializar los resultados del trabajo en eventos científicos y capacitaciones dirigidas a productores del Mamey.

Referencias

- Álvarez, M. (2018). *Estructuras de producción y sostenibilidad en la agricultura campesina cubana. Transformando el campo cubano*. Avances de la agricultura sostenible. <http://www.ecofondo.org.co>
- Andersen, E.; Elbersen, B.; Godeschalk, F. & Verhoog, D. (2021). Indicadores de manejo agrario y tipologías como base para el asentamiento en la política de cambios ambientales. *Journal of Environmental Management*, 82(3), 353-362. <http://unpan1.un.org>
- Andreoli, M. & Tellarini, V. (2018). Evaluación de la sostenibilidad agraria: metodología y práctica. *Agricultura, Ecosistemas y Medioambiente*. 77(1), 43-52. <http://www.ica.gov.co>
- Atance, I. (2019). Las ayudas agroambientales como instrumento único de intervención en sistemas productivos de alto valor medioambiental. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*. 22(3), 75-98. <http://www.ecofondo.org.co>
- Barraza, K. A. (2019). Impacto de la Innovación Tecnológica en la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción de Campesinos Pehuenches, Comuna de Lonquimay, región de la Araucanía, Chile. <http://www.cybertesis.cl>
- Bossel, H. (2017). Evaluación de la viabilidad y la sostenibilidad: un acercamiento con sistema basado en indicadores de comprensión. *Conservation Ecology*, 5(2), 1-12. <http://www.conbio.org>
- Cabrera, E.N. (2017). Un enfoque prospectivo para el desarrollo sostenible en ecosistemas de montaña. Caso Guamuhaya. Tesis de doctorado, Universidad de La Habana. <http://www.uh.ed>
- Campell, D. J. & O'sullivan, M.F: (2019). El penetrómetro cónico en relación con la compactación traficable y métodos físicos de análisis del suelo. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Ed. Marcel Dekker, Inc.; St. Joseph, Michigan, USA, 34(3), 399-423. <http://dx.doi.org>
- CARE Internacional (2022). Proyecto de Agua y Saneamiento Sostenible. PASOS II. Manual de protección de fuentes de agua con participación comunitaria.
- Castillo, M., Laurens, W. y Barceló, M. (2019). La erosión y su impacto negativo en los suelos agrarios. *Journal of Terramechanics* 24(1), 21-36. <http://www.oas.org>
- Castro, R. & Pérez, R. (2020). Saneamiento rural y salud. <http://www.ops.org>

Centro de Estudios de Desarrollo de la Producción Agropecuaria, Universidad Ignacio Agramonte y Loynaz, Camagüey. (CEDEPA, 2018). La conservación de fuentes naturales de abasto de agua para uso agropecuario. <http://www.reduc.edu.cu>

Colina, M.; Roslaes, Andrade, M. & Tobias, L. (2019). La erosión. Su presencia negativa en las actividades agrícolas del sur de Brasil. Embrapa Acre, Rio Branco, AC. <http://www.embrapa.gov.br>

CONCYTEG (2018). Calidad de agua, vida y ecología rural. <http://www.eaufrance.tm.fr>

Conway & Barbier. (2017). After the Green Revolution: Sustainable Agriculture for Development. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>

Costa, M.; Ruiz, L.; Brand, L. & Castrist, M. (2018). Investigaciones ambientales en zonas con riesgo de desertificación en Colombia y Chile. Ciencias de la Tierra i del medi ambient. Ed. Castellnou. ISBN 978-84-9804-640-3. <http://www.rtvv.es>

Díaz Duque, J.A., Menéndez, L., Guzmán, J.M., y García, E. (2018). Principales problemas ambientales y ecológicos que influyen en la sostenibilidad de la República de Cuba. I Simposio sobre ciencias de la Sostenibilidad. www.fao.org

Diersing, N. (2019). Calidad del agua: Preguntas frecuentes. Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, FL. <http://www.medigraphic.com>

Duiker, S. (2020). Avoiding Soil Compaction. Penn State University Extension. <https://agsi.psu.edu>

Ecuador. Colegio de ciencias biológicas y ambientales de la Universidad San Francisco de Quito (2018). Conservación de los recursos hídricos en el bosque protector Corazón de Oro. <http://www.usfq.edu.ec>

EOS Data Analytics (2023). Erosión Del Suelo Agrícola: Tipos, Efectos, Cómo Evitarla. <https://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/>

Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana (2018). Criterios de calidad admisibles para la destinación del agua para la preservación de la fauna y flora. <http://www.uv.mx>

FAO (2018). Métodos simplificados de análisis microbiológicos Coliformes Fecales. Determinación del número más probable de coliformes fecales por la técnica de los tubos múltiples. <http://www.fao.org>

García, G. (2019). Intervenciones antrópicas en los sistemas naturales. <http://www.ecovida.com>

- García, N.; Hernández, A.; Fuentes, E.; Alvarez, G. y Krasilnikov, P. (2020). La importancia del suelo para la sostenibilidad de los sistemas agroforestales cafetaleros en la sierra sur de Oaxaca, México. En: Congreso Científico INCA. (13:2000: La Habana), 4 p.
- García Serrano, J. (2028). Evaluación y planificación ecológico-paisajística en el entorno del monte arábí (yecla). www.tfc.umh.com
- González, A., Leyva, O. (2018). El funcionamiento de un agroecosistema premontañoso y su orientación prospectiva hacia la sostenibilidad: rol de la agrobiodiversidad. *Cultivos Tropicales*, 39 (1), 21-34.
- Hart, R.D. (2021). A natural ecosystem analog approach to the design of a sucesional crop system for tropical forest environments. *Biotropica* 12, 73-83. <http://www.biology.utah.edu>
- Hartge, K.H. (2020). Mediciones con penetrómetro para medir la variabilidad física del suelo. *Soil & Tillage Research*, 5(4), 343-350. <http://www.oas.org>
- <https://coral.org/wp-content/uploads/2022/06/CARE-Manual-de-proteccion-fuentes-de-agua.pdf>
- Herrera Trujillo, Y. (2023). Importancia del análisis para determinar la calidad del agua de consumo (NOM-127; NOM-201 y WHO). www.merieuxnutrisciences.com
- Hunder, W.; Lombersting, P.; Volton, R. & Simmerley, L. (2019). Estudios ambientales sobre la erosión. Causas antropogénicas, el factor humano. <http://www.ecaf.org>
- Jeschke, M y Lutt, N. (2022). Compactación del suelo en la producción agrícola, <https://www.corteva.es/agronomia-y-servicios/informacion-agronomica/compactacion-del-suelo-en-la-produccion-agricola.html>
- Jhonson, C.E. & Bailey, C. (2018). Soil compaction. *Advances in Soil Dynamics*, St. Joseph, Mich., USA, *Transactions of the ASAE*, 2,155-178. <http://www.oas.org>
- Johnson, Ambrose, Bassett, Bowen, Crummey, Isaacson, Lamb & Winter-Nelson. (2019). Significado de términos ambientales. *Journal of Environmental Quality*. 26, 581-589. <http://www.epa.gov>
- Lefroy, R.D.B.; Bechstedt, H.D. & Rais, M. (2016). Indicadores de sostenibilidad agraria sobre la base de los cuestionarios agrarios en Vietnam, Indonesia y Tailandia. *Agricultura, Ecosistema y Medioambiente*, 81(1), 137-146. <http://www.proexport.es>
- Lugo, I.; Márquez, P. & Landis, W. (2020). Manejo agrícola en comunidades sociales. <http://www.engormix.com>
- Margalef, R. (2020). Perspectivas en teoría ecológica. <http://www.creativecommons.org>

- Martínez, M. y Suárez, L. (2020). Proceso de artificialización de los ecosistemas.
<http://www.ecovida.com>
- Martínez Rodríguez, A.; Rodríguez Pérez, R. & Pérez Sendín, A. (2018). Sensoramiento del estado de compactación del suelo mediante un campo magnético variable. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20 (1), 25-30.
- Martínez, C.; Suárez, L.; González, R. & Rodríguez, S. (2018). Procesos erosivos por deficiente cobertura vegetal del suelo en áreas agropecuarias del municipio San Antonio del Sur. Centro Universitario de Guantánamo: Facultad de Agronomía de Montaña de Sabaneta.
<http://www.gereon.es>
- Masera, O. & López-Ridauro, S. (2019). Sustentabilidad y sistemas campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural. MundiPrensa-GIRA-UNAM. México.
<http://www.mundiprensa.com>
- Masera, O., Astier, M. & López-Ridauro, S., (2019). Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS. MundiPrensa-GIRA-UNAM, México. 99 pp.
<http://www.mundiprensa.com>
- Mella, L. (2017). Los procesos erosivos en sistemas de producción ganaderos de Granma.
<http://www.uo.edu.cu>
- Navarrete Segueda, A.; Vela Correa, G.; López Blanco, J.; Rodríguez Gamino, L. (2020). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS* 80, 29–37.
<http://www.contactoS.com>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (2021). Manual sobre la construcción de indicadores compuestos. Metodología y guía práctica. <http://www.oecd.org>
- Pérez, J.M. (2019). Suelos montañosos. En *Génesis y clasificación de los suelos de Cuba*. Inst. Suelos, Acad. Cien. Cuba, p. 284-303.
- Pérs, L. (2018). Sistema antrópico vs comunidades vulnerables. <http://www.ecovida.com>
- Pimentel D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M. & CRIST, S. (2019). La evidencia de erosión en suelos rocosos del sur de Australia.
<http://www.eaufrance.tm.fr>
- Pla, L. (2018). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza.
<http://www.scielo.org.ve>

- Platas-Rosado, D. E.; Vilaboa-Arroniz, J; González-Reynoso, L; Severino-Lendechy, V.H; López-Romero, G; Vilaboa-Arroniz, I. (2017). Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20 (3), pp. 395-399.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93953814017>
- Raper, R.L., Kirby, J.M. (2020). Soil Compaction: How to Do It, Undo It, or Avoid Doing It. ASAE Distinguished Lecture #30, pp. 1-14. Agricultural Equipment Technology Conference. ASABE Publication Number 913C0106. <https://www.asabe.org>
- Rayén Quiroga M. (2021). Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas. <https://www.ecologiaverde.com/autor/indicadores-55.html>
- Ríos Atehortúa, G. P. (2018). Propuesta para generar indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción agropecuaria, para la toma de decisiones. Caso: lechería especializada. Viçosa: Universidade Federal. <http://www.ufv.br>
- Romero Rojas, L. (2018). Tratamiento de las aguas residuales. <http://www.eaufrance.tm.fr>
- Ropero Portillo, S. (2022). Agrosistema montañoso.
<https://www.ecologiaverde.com/autor/agrosistemamontañoso-245.html>
- Servadio, R. & Huffman, L. (2018). Vehicle and heel factors influencing soil compaction crop response in different traffic regimes. *Soil and tillage research*, 11, 239-282.
<http://www.engormix.com>
- Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R. & Blair, R. (2018). Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, 1117-1123. <http://www.eaufrance.tm.fr>
- Socorro Castro, A. (2016). Indicadores de la sostenibilidad de la gestión agraria en el territorio de la provincia Cienfuegos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, Facultad de Agronomía.
- Tellarini, V. & Caporali, F. (2018). An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 77(1-2), 111-123. <http://www.gtz.de>
- Threadgill, Ch. (2018). Suelos y compactación. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 57(1), 107-121. <http://www.gtz.de>

- Tisdell, C. (2020). Economic indicators to assess the sustainability of conservation farming projects: an evaluation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 57(1), 117-131. <http://www.gtz.de>
- Van Calker, K.J.; Berentsen, P.B.M.; Romero, C.; Giesen, G.W.J. & Huirne, R.B.M. (2018). Development and application of a multiattribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecological Economics*, 57(3), 640-658. <http://www.ecoeco.org>
- Vandana, SH. (2018). Las granjas de la Esperanza. Inter Press Service IPS. <http://www.interpress.org>
- Vanslebrouck, I.; Van Huylenbroeck, G. & Verbeke, W. (2021). Determinants of the willingness of Belgian farmers to participate in agro-environmental measures. *Journal of Agricultural Economics*, 51(3), 489-511. <http://www.ica.gov.co>
- Vargas De Mayo, C. (2018). Métodos simplificados de análisis microbiológicos Coliformes Fecales. Determinación del número más probable de coliformes fecales por la técnica de los tubos múltiples. <http://www.fao.org>
- Weissbach, W. & Wilde, H. (2018). Cone penetration resistance equation as a function of the clay ratio, soil moisture content and specific weight. *Journal of Terramechanics*, 24(1), 41-56. <http://www.oas.org>

Anexos

Anexo 1. Entrevista semiestructurada al delegado del Poder Popular

- Área total de la comunidad _____
- Área de interés agrario _____
- Cantidad de viviendas _____
- Cantidad de habitantes _____ Masculinos _____ Femeninos _____
- Jóvenes _____
- Cantidad de trabajadores _____
- Formas de producción _____
- Principales actividades económicas _____
- Consumo alimenticio diario de la población _____
- Calidad de Vida (escala de percepción).

Características	Atributo	Índice
Nivel educativo	No tiene	1
	Primaria	2
	Secundaria	3
	Preuniversitario	4
	Técnico Profesional	5
	Universitario	6
Nivel tecnológico	Artesanal	1
	Medio	2
	Alto	3
Acceso a Servicios Sociales	Malo	1
	Regular	2
	Bueno	3

Anexo 2. Vistas de la comunidad



Anexo 3. Certificación de Prueba de H₂O. Planta Potabilizadora Los Filtros de Cumanayagua, con un equipo Fotoanálisis Dinko- D 105,

Cumanayagua 13 de Junio del 2023.
"Año 65 de la Revolución".

Análisis Físico-Químico

Equipo: Fotoanalizador Dinko-D-105
con los filtros 415, 520, 577, 630.

Determinar concentraciones Químicas en parte por millón en dichas muestras.

Muestra de Agua del Mawey:

M1 Muestra de Agua del Pozo de Agua de Consumo de la Comunidad

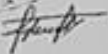
M2 Muestra de Agua del Arroyo

M3 Muestra de Agua del Manantial.

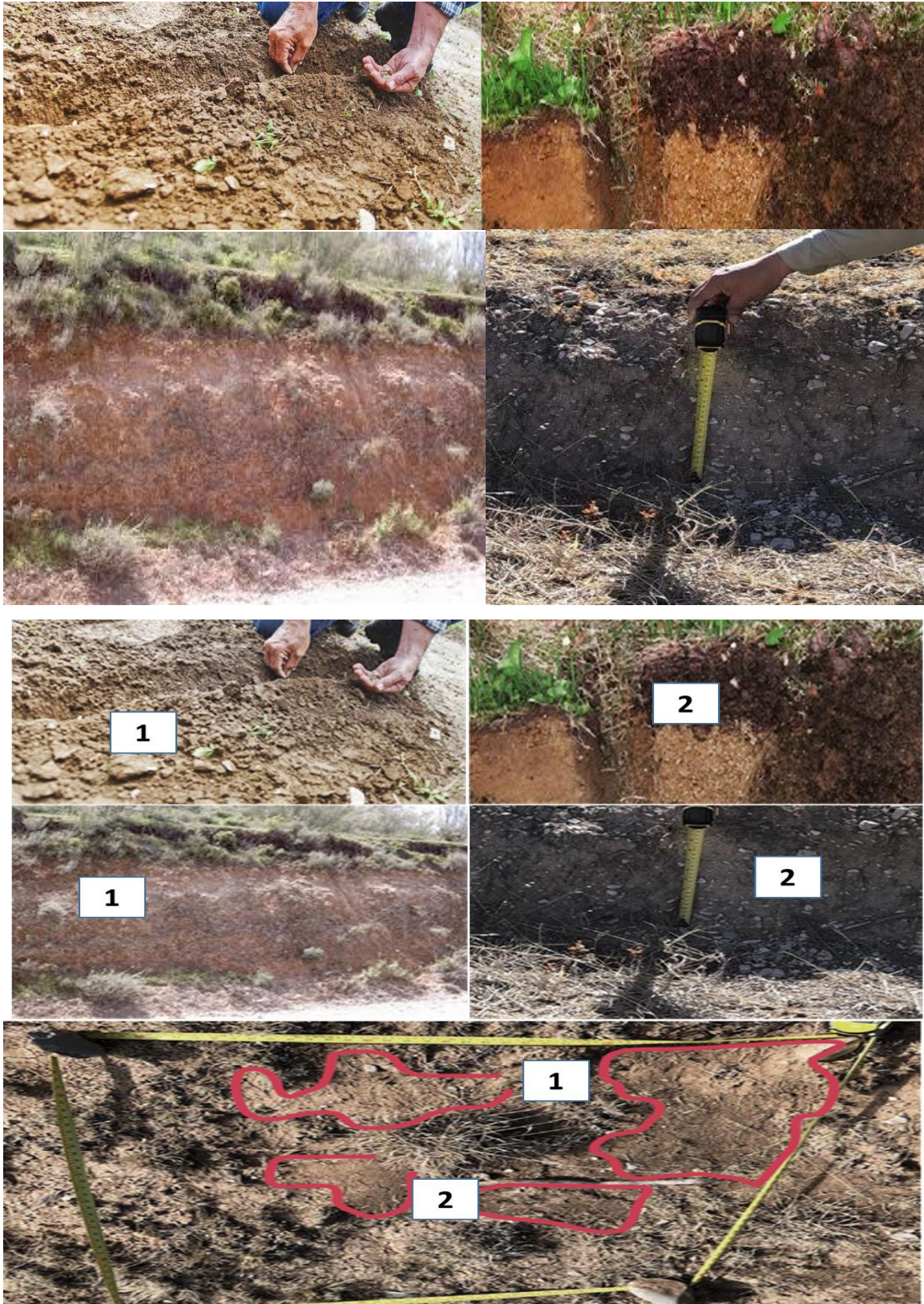
Parámetros	Valor Permisible	Valor en el laboratorio		
		M1	M2	M3
Coliformes fecales	0	0	0,001	0
Residuos de cloro	0,2 a 0,5 Mg/L	0,00	0,17	0,00
restros desinfectantes	10 Mg/L como Nitrógeno	0,024	0,032	0,024
Nitratos	6,5 a 8,5	7,5	7,8	7,5
pH	20 Mg/L	0,027	0,035	0,018
Sodio	250 Mg/L	0,003	0,004	0,002
Sulfatos	≤ 5 UTN	3	8	1
Turbidez				

Tecnólogo Químico Julio Tomas Iglesias Marrero

Dpto: Ingeniería Laboratorio Planta Potabilizadora
Los Filtros Cumanayagua.

Tec. Qca. Firmas: 

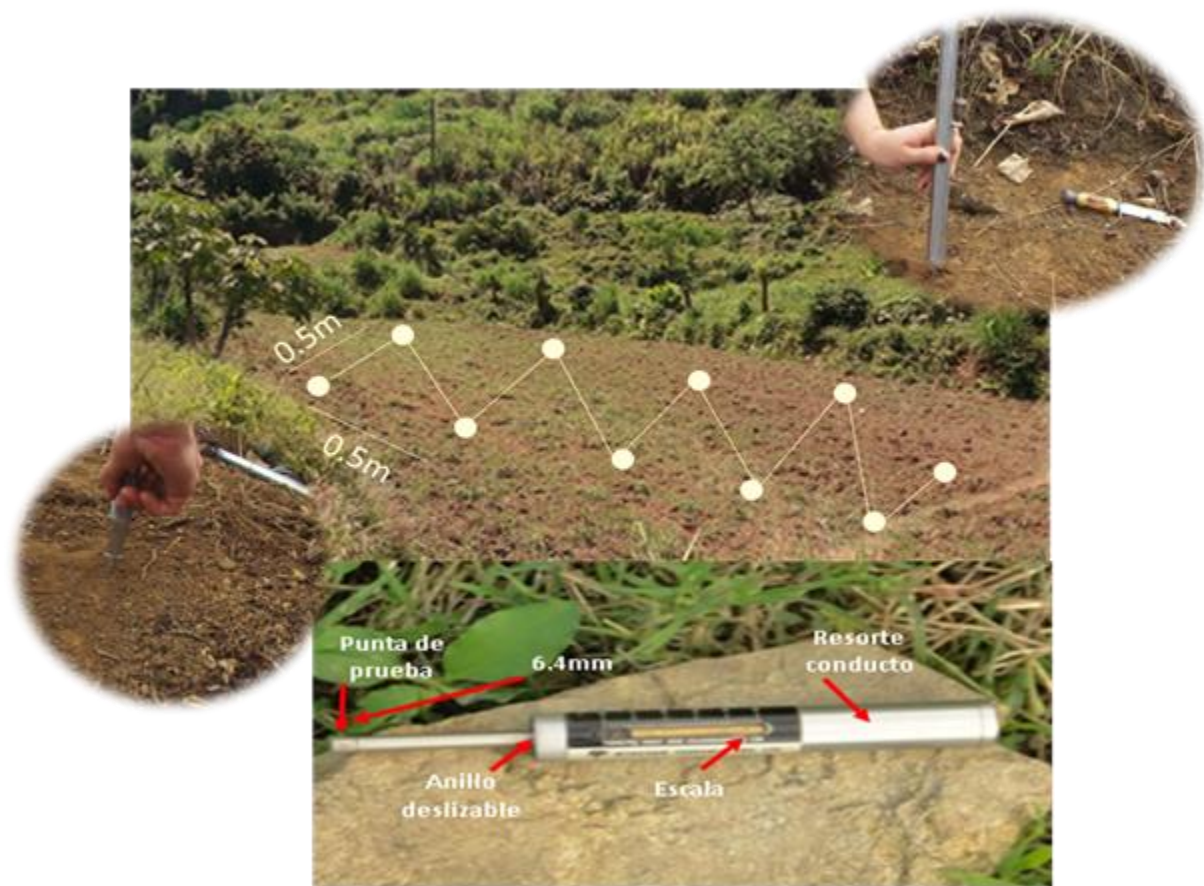
Anexo 4. Comprobación de los procesos de erosión



Anexo 5. Aguas residuales



Anexo 6. Comprobación de la compactación del suelo



Anexo 7. Mapa geológico de compactación natural de los suelos de El Mamey

