



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

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

**Título: PRÁCTICAS AGRÍCOLAS DE CONSERVACION DE SUELOS
MÁS RECOMENDABLES PARA APLICAR COMO RESPUESTA AL
PROCESO DE REPELENCIA EN FINCAS DEL MUNICIPIO
CUMANAYAGUA**

Autor: Yaniel García aparicio

Tutores: MSc. Olimpia Nilda Rajadel Acosta

Curso :2020-2021

Pensamiento

*Si el hombre sirve,
la tierra sirve.*

José Martí

Agradecimientos

- ❖ A la Revolución Socialista por haberme dado la oportunidad de formarme Ingeniero agrónomo.
- ❖ Agradezco eternamente a mi mamá y a mi papá por su apoyo incondicional en la realización de este sueño. Agradezco a mi tutora, la MSc. Olimpia Nilda Rajadel Acosta que además de ser una magnífica tutora, supo ser una gran amiga, brindándome no solo su amplio conocimiento, sino también su confianza y sabios consejos, sin los cuales este trabajo no hubiera culminado satisfactoriamente.
- ❖ A mi hermana por su apoyo incondicional
- ❖ A mi novia por toda su ayuda, paciencia y amor
- ❖ A todos mis familiares y amigos que de alguna manera han contribuido con su ayuda y apoyo, pues este logro también es suyo.
- ❖ A todos los profesores que han aportado a mi preparación como ingeniero

Dedicatoria
A mi madre

Resumen

Se desarrolló una investigación de tipo No Experimental, descriptiva y de correlación múltiple en diferentes unidades agrícolas del municipio de Cumanayagua, cuyo objetivo fue: diagnosticar la repelencia, causas y prácticas agrícolas, adaptables a condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de fincas del municipio Cumanayagua, para la mejora del balance hídrico del suelo y el aprovechamiento del agua por los cultivos. Para la captación de la información requerida se emplearon métodos del orden teórico y empíricos con sus correspondientes técnicas, la organización de dicha información, fue en registros elaborados a tal fin y permitió conformar la base de datos para el procesamiento de datos con el Paquete Automatizado SPSS v.20. La investigación se estructuró en epígrafes que se corresponden con los objetivos de investigación trazados. Como principales resultados se obtendrán: indicadores y formas de medida de la repelencia del suelo al agua; así como, la formulación de acciones que constituyan prácticas agrícolas adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de las fincas, que contribuyan a la mejora del balance hídrico del suelo y al aprovechamiento del agua por los cultivos.

Palabras clave: balance hídrico, ciclo hidrológico, cambios en propiedades de suelos, escorrentía superficial, humedad del suelo

ABSTRACT

A Non-Experimental, descriptive and multiple correlation research was developed in different agricultural units of the municipality of Cumanayagua, whose objective was: to diagnose repellency, causes and agricultural practices, adaptable to edaphoclimatic, productive and social conditions of farms in the Cumanayagua municipality, for the improvement of the hydric balance of the soil and the use of water by crops. To capture the required information, theoretical and empirical methods were used with their corresponding techniques, the organization of said information was in records prepared for this purpose and allowed to form the database for data processing with the SPSS Automated Package. v.20. The research was structured into sections that correspond to the research objectives outlined. The main results will be: indicators and ways of measuring the repellency of the soil to water; as well as, the formulation of actions that constitute agricultural practices adaptable to the edaphoclimatic, productive and social conditions of the farms, which contribute to the improvement of the water balance of the soil and the use of water by crops.

Keywords: water balance, hydrological cycle, changes in soil properties, surface runoff, soil moisture

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Revisión bibliográfica.....	7
1.1. Antecedentes y/o avances en el estudio de la repelencia o hidrofobia	8
1.1.1. Concepto de repelencia del suelo al agua	8
1.1.2. Elementos que se relacionan con la hidrofobia o repelencia	10
1.1.3. Evolución histórica del estudio de la repelencia o hidrofobia.....	18
1.2. Trascendencia del grado de afectación que provoca la repelencia del suelo al agua en un sistema agrícola	20
1.2.1 Principales causas que dan origen a la repelencia.....	20
1.2.2. Métodos y requerimientos técnicos que facilitan la identificación y evaluación del grado de repelencia existente en un suelo de uso agrícola.....	25
1.2.3. Influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras microbióticas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos	27
Capítulo 2. Materiales y métodos.....	30
2.1. Caracterización de los procesos de degradación de suelos en fincas del municipio Cumanayagua, que conduzcan a cambios en propiedades del suelo... ..	30
2.2. Análisis de la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras biológicas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios.....	35
2.3. Identificación de los cambios ocurridos en propiedades del suelo asociado a la presencia de los agentes causantes de la repelencia de suelos al agua en fincas del municipio Cumanayagua	36
2.4. Formulación de propuesta de acciones que constituyan prácticas agrícolas adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de las fincas, que contribuyan a la mejora del balance hídrico del suelo y al aprovechamiento del agua por los cultivos	36
Capítulo 3. Resultados y discusión.....	38

3.1. Resultados de la investigación.....	41
3.1. 1. Resultados de la caracterización de los procesos de degradación de suelos en fincas del municipio Cumanayagua, que conduzcan a cambios en propiedades del suelo.....	41
3.2. Resultado del análisis de la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras biológicas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios.....	51
3.3. Resultado de la identificación de los cambios ocurridos en propiedades del suelo asociado a la presencia de los agentes causantes de la repelencia de suelos al agua en fincas del municipio Cumanayagua.....	52
3.4. Formulación de propuesta de acciones que constituyan prácticas agrícolas adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de las fincas, que contribuyan a la mejora del balance hídrico del suelo y al aprovechamiento del agua por los cultivos.....	57
Conclusiones.....	60
Recomendaciones	61
Bibliografía:	62
Anexos:.....	70

Introducción

El suelo es un recurso natural valioso, que realiza funciones ecosistémicas esenciales, el cual proporciona bienes y servicios ambientales, tales como alimento, fibras y producción de combustibles, secuestro de carbono, regulación del agua y provisión de hábitat a seres vivos (De Vente et al., 2013).

Con el transcurso del desarrollo de la Humanidad, este recurso natural, ha sido sometido a una creciente presión medioambiental, principalmente por la actividad humana ligada a usos agrícolas, forestales o mineros, los que no siempre aplican las adecuadas medidas de conservación.

Otra dimensión negativa del problema, lo constituyen, la contaminación, ocasionada por una mayor producción de residuos a partir de las actividades industriales, así como, las relacionadas con el movimiento de suelos y la ocupación de espacios naturales que se realizan en las actividades de urbanización, todo lo cual, genera cambios notables e irreversibles en el uso del suelo.

Aunque estas actividades, están dañando la capacidad del suelo para continuar prestando las funciones ecosistémicas antes relacionadas; provocando que gran parte de la población mundial se vea afectada por la degradación de los ecosistemas y en particular, recursos naturales, como el suelo y el agua, este problema se incluye plenamente en los procesos de planificación u ordenamiento territorial, para que se orienten medidas efectivas en la toma de decisiones, y las mismas sean controladas, a través de intervenciones políticas (Kumar et al., 2013). En 2050, se estima que la población mundial alcanzará los 9.000 millones de habitantes, este aumento y por ende, la mayor demanda de alimentos, ponen en riesgo la conservación de los recursos naturales y el uso inadecuado de los mismos, por lo cual, para incrementar la producción de alimentos, se deberá aumentar la productividad de las tierras actualmente bajo cultivo e incorporar nuevas tierras, muchas de ellas de cierta fragilidad, con bosques o en tierras de laderas, aplicando medidas de conservación que eviten su degradación (Michelena, 2011).

En los últimos años, se ha tomado conciencia de que los factores que limitan la capacidad agro productiva de los suelos, se derivan del fenómeno de degradación

física que han experimentado, dada la aplicación de sistemas de manejo intensivo con tecnologías altamente productivas como la mecanización. Con el estudio de las propiedades físicas del suelo, se han evaluado los efectos de actividades agrícolas fundamentales como la mecanización y el manejo desarrollado para garantizar la conservación del suelo y el agua, especialmente desde el punto de vista de la sostenibilidad de este recurso (Ohep y Marcano, 2003).

Dichos estudios, también han permitido identificar cambios en las propiedades del suelo, ocasionadas por diferentes causas, entre las que puede señalarse de forma significativa, los incendios, cuyos efectos directos, después del mismo, son los producidos por el calentamiento y la combustión de la materia orgánica, mientras que los indirectos, lo constituyen la situación micro climática que se produce ante la pérdida de la cubierta vegetal y el recubrimiento de la superficie por las cenizas (Neary et al., 1999).

Estos cambios, dependerán principalmente, de la temperatura alcanzada durante el incendio; así como, de las funciones y procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren debajo de la capa de hojarasca; por lo que la sostenibilidad y recuperación del suelo, estarán determinados por su estructura, cuya función es permitir, tanto la infiltración del agua, como su retención en el sistema de poros (Mataix-Solera, 2012).

También estos cambios pueden estar asociados a la presencia del proceso denominado repelencia del suelo al agua, el cual determina el incremento de la escorrentía superficial y flujos preferenciales subsuperficiales, y en zonas semiáridas, es un factor fundamental en el balance hídrico (Doerr & Walsh, 2000). En numerosas investigaciones realizadas por Moral et al. (2002) y Moral García et al. (2005) han demostrado la ocurrencia del proceso de repelencia de manera natural.

Por su parte, Wallis y Horne (1992); DeBano (2000) y (Doerr, Shakesby, & Walsh, 2000), han observado su ocurrencia en diferentes tipos de suelo, bajo diferentes climas y tipos de vegetación de todo el mundo, atribuyéndole la causa a la acumulación de compuestos orgánicos hidrófobos.

Sin embargo, estos investigadores coinciden en plantear, que la mayor intensidad del proceso ha sido apreciada en suelos afectados por incendios, lo cual permite afirmar, que el fuego puede ser un agente capaz de modificar propiedades del suelo como la estructura y el contenido de materia orgánica, y de este modo, facilitar la ocurrencia de la repelencia, cuyas manifestaciones e intensidad pueden ser muy diferentes, en función de las temperaturas alcanzadas durante la combustión y el tiempo de ocurrencia del fuego (Hallett, 2008).

La disminución de las tasas de infiltración del agua en el suelo, como consecuencia de la repelencia tiene consecuencias hidrológicas y geomorfológicas inmediatas, considerándose que estos impactos, asociados a la hidrofobia, como también se reconoce la repelencia, provocan reducción de la infiltración y disponibilidad de agua para las plantas, incremento de la escorrentía y, por ende, susceptibilidad a la erosión (Jaramillo d. f, 2011).

Se pueden añadir otras consecuencias sobre el crecimiento y supervivencia de las plantas, el desarrollo de vías de flujo preferencial o el lavado acelerado de agroquímicos aplicado en los suelos de uso agrícola de los sistemas productivos a través de la fertilización (Doerr y Shakesby, 2006).

La determinación del grado de afectación que provoca la repelencia del suelo al agua, condiciona la posibilidad de aplicar medidas de conservación de suelos, favorece el incremento de los rendimientos agrícolas, mejora el balance hídrico del suelo y el aprovechamiento del agua por los cultivos, lo cual también, tiene acción estimulante para la mejora del paisaje de la localidad e incide de forma directa en la calidad de vida de los productores y en el desarrollo sostenible de la localidad.

Además, al identificar la presencia de la repelencia y sus agentes causales, facilita la toma de decisiones en cuanto al manejo del agua, como recurso imprescindible del desarrollo agrícola, y para la prevención de pérdidas de suelos, en el mediano y largo plazo, ante la ocurrencia de fenómenos naturales severos, asociados al Cambio Climático.

A pesar de lo antes esbozado, este proceso, no se ha tomado con el interés y la importancia que esta problemática representa para el adecuado balance hídrico del suelo y para el aprovechamiento del agua por los cultivos. La literatura revisada

evidenció, que su predicción ha sido poco estudiada, tanto en el mundo, como en Cuba, y los resultados obtenidos, no son del todo concluyentes, debido a su elevada variabilidad y a la cantidad de factores de los que depende, por lo que aún se mantienen en proceso de estudio Scott, (2000) y Doerr et al., (2006).

Para el caso particular de Cuba, el desarrollo de emprender estos estudios tiene gran importancia desde el punto de vista de la producción de alimentos, dado al incremento de los procesos de degradación de los recursos naturales, fundamentalmente suelo y agua, derivado tanto, de la aplicación de malas prácticas agrícolas, como por la ocurrencia de fenómenos atmosféricos severos asociados al Cambio Climático.

Entre las malas prácticas más comunes en el país, es el uso intensivo de la mecanización agrícola y del fuego, para eliminar arvenses en la superficie del suelo, prácticas empleadas fundamentalmente en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum sp*). También pueden citarse, los incendios que anualmente ocurren en áreas ganaderas y forestales, provocados tanto por procesos de sequía intensa o por indisciplinas humanas, con lo cual aunque no se han evidenciado estudios, pueden inferirse la ocurrencia de hidrofobia o repelencia, que afecte estas áreas de forma temporal o permanente, y por tanto, en dichas zonas agrícolas, se manifiesten pérdidas de agua en el suelo, se incrementen los gastos del agua aplicada por sistemas de riego y se logre bajo aprovechamiento de agua por los cultivos, a pesar de que reciban frecuentemente las normas que se correspondan con sus necesidades hídricas.

Como parte de resultados de investigación, que tributan al Programa Nacional de Ciencia y Tecnología "Salud Animal y Vegetal, liderado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cienfuegos, se han evidenciado pérdidas de retención de humedad, ocurrencia de procesos erosivos, pérdida de materia orgánica y otros procesos de degradación de suelos y agua, en áreas agrícolas afectadas por fuego y disminución de cobertura vegetal, por lo que con el presente estudio, desarrollado en suelos de uso agrícola del municipio de Cumanayagua, se pretende conocer las causas fundamentales que pueden considerarse como riesgo o causas de la ocurrencia de la repelencia y cuáles buenas prácticas de uso, manejo y

conservación de suelos pueden recomendarse para frenar o palear el efecto de este proceso de degradación.

El objeto de estudio de la presente investigación, es la repelencia o hidrofobia en suelos de uso agrícola de sistemas productivos del municipio Cumanayagua y el problema científico a resolver a través de la presente investigación es el siguiente: ¿Cuáles prácticas agrícolas para la conservación de suelos, serán más recomendables en fincas del municipio Cumanayagua, como respuesta a causas de la repelencia del suelo al agua?

Ante la necesidad de orientar la investigación hacia la búsqueda de la solución a la problemática planteada, se declaran la hipótesis y los objetivos siguientes:

Hipótesis

El diagnóstico de la presencia de repelencia y sus principales causas, permitirá identificar las prácticas agrícolas para la conservación de suelos más recomendables a aplicar en fincas del municipio Cumanayagua, como respuesta a este proceso.

Objetivo general

Diseñar un programa de prácticas agrícolas para la conservación de suelos más recomendables a aplicar en fincas del municipio Cumanayagua, como respuesta al proceso de repelencia, a través de la caracterización de procesos de degradación que originan cambios en propiedades de suelos y de las prácticas de manejo tradicionales.

Objetivos específicos

- Caracterizar los procesos de degradación que originan cambios en propiedades de suelos y las prácticas de manejo empleadas tradicionalmente en fincas del municipio Cumanayagua.
- Analizar la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras microbióticas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios
- Identificar posibles causas que conllevan a la presencia de repelencia en suelos de uso agrícola de las fincas bajo estudio.

- Proponer un programa de prácticas agrícolas para la conservación de suelos más recomendables como respuesta al proceso de repelencia en estas fincas.

Capítulo 1. Revisión bibliográfica

En reportes realizados por (Pennock, 2016), se plantea que el suelo es un componente fundamental de la biosfera, ya que es la interface entre la tierra, el aire y el agua, además de considerarlo un recurso no renovable, a escala de tiempo humana, que desempeña diversas funciones importantes para la vida como: sostén del crecimiento y diversidad de plantas y animales, aportando el medio físico, químico y biológico para los intercambios de agua, aire, nutrientes y energía; es el que regula la distribución del agua, entre la infiltración y escorrentía, el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes; así como, los compuestos disueltos en el agua. También se le atribuyen las funciones de almacenaje y moderación de la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos, al realizar procesos de degradación / síntesis, inmovilización y detoxificación de sustancias orgánicas e inorgánicas.

En tal sentido, debido a la importancia y a las funciones del suelo descritas con anterioridad, es que en esta etapa del trabajo de investigación, se llevó a cabo la revisión del conocimiento que se tiene en el mundo y en Cuba, acerca del proceso de repelencia o hidrofobia del suelo para conocer los principales elementos que pueden permitir el diagnóstico de la presencia de dicho proceso, sus principales causas e identificar las prácticas agrícolas más adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de los sistemas productivos, para de esta forma, contribuir a la mejora del aprovechamiento del agua como recurso imprescindible de los resultados agrícolas, de lo que se deriva, la importancia ecológica, económica, cultural, etnológica, social; etc. del tema de investigación.

1.1. Antecedentes y/o avances en el estudio de la repelencia o hidrofobia

Ante todo, es preciso tomar como punto de partida, la conceptualización del proceso de repelencia del suelo al agua.

1.1.1. Concepto de repelencia del suelo al agua

Según Miyata et al. (2010), es un concepto confuso, ya que, en teoría, ninguna superficie ejerce repelencia absoluta sobre un líquido, pues siempre existe una cierta atracción entre las partículas de cuerpos sólidos y líquidos.

Estos mismos investigadores reconocen a la repelencia como una propiedad de los suelos, que reduce las tasas de infiltración. De este modo, la superficie de un suelo repelente al agua, puede llegar a ofrecer una resistencia intensa a la humectación, lo que hace disminuir la infiltración del agua acumulada en la superficie durante períodos de tiempo que pueden oscilar, desde unos pocos segundos hasta horas, días o semanas, en función de las características ambientales y del tipo de suelo.

Entre los diversos impactos geomorfológicos e hidrológicos asociados a la hidrofobia cabe destacar, según De Bano (2000); Doerr et al. (2000) y Shakesby et al. (2000):

- a) reducción de la infiltración e incremento de la escorrentía;
- b) desarrollo de vías preferenciales de infiltración y percolación de agua;
- c) efectos sobre el régimen de humedad del suelo y propiedades físicas;
- d) contribución hídrica a cauces, y
- e) fomento de los procesos erosivos

Contreras y Solé (2003), han demostrado la existencia de esta propiedad en diferentes tipos de suelo; así como, bajo diferentes climas y tipos de vegetación del mundo, donde observaron que en todos los casos, al disminuir la tasa de infiltración en la superficie del suelo, la repelencia al agua contribuyó a reducir el tiempo de generación de escorrentía y a intensificar el flujo superficial, lo que tiene a su vez, provocó otras consecuencias importantes, como el aumento del riesgo de erosión, la irregularidad en el frente de mojado y el desarrollo de vías de flujo preferencial o el lavado acelerado de nutrientes y agroquímicos. No obstante, aseguran que este

proceso, no siempre tiene efectos negativos, ya que puede incrementar la estabilidad estructural o el secuestro de carbono.

En la figura 1, se puede observar, cómo las gotas de agua se mantienen sin infiltrar en la superficie de un suelo afectado por la repelencia.



Figura 1. Manifestación de un suelo afectado por proceso de repelencia

Fuente: Arcenegui, V. (2012).

A criterios de Debanó et al. (1976), existen dos formas principales de repelencia al agua: una debida a causas naturales y la otra inducida, las cuales se detallan a continuación:

- **Repelencia natural:** esta depende fundamentalmente de la textura, acidez y tipo de cobertura vegetal; también, puede producirse bajo distintas condiciones climáticas (Debanó, 1969). En este caso, Fabres (2001) ha descrito el fenómeno de la repelencia del suelo, aduciendo su causa a una estacionalidad natural, que se hace evidente con la primera lluvia de verano, pero que desaparece cuando aumenta la frecuencia de éstas.
- **Repelencia inducida:** es la asociada a las medidas de manejo agrícola, tales como las quemadas periódicas (Debanó, 1969). Según Lipiec et al. (2006), las labores de cero labranzas, reducen la tasa de humectación y la sortividad, al favorecer la acumulación de materia orgánica en los primeros centímetros de suelo, con lo cual se puede inducir este proceso.

Para dar continuidad a la fundamentación teórica del tema de investigación, es preciso conocer algunos aspectos conceptuales de elementos que se relacionan con la hidrofobia o repelencia del suelo al agua.

1.1.2. Elementos que se relacionan con la hidrofobia o repelencia

Se parte inicialmente de la escasez del agua, la cual, para su mejor estudio, ha sido diferenciada según Bunning, S. (2017). en:

-Escasez física de agua: disponibilidad de agua dulce de calidad aceptable con respecto a la demanda.

-Escasez económica de agua: la cual a su vez se subdivide en:

a) Escasez en el acceso a los servicios de agua, debido al fracaso de las instituciones para garantizar la provisión fiable de agua a los usuarios.

b) Escasez debido a la falta de infraestructura adecuada por limitaciones financieras (independientemente del nivel de RRHH).

Las cuencas sufrirán escasez física de agua en el corto plazo, ya que, >75% de los flujos de ríos (y agua reciclada), se destinan a fines agrícolas, industriales y domésticos; pero la disponibilidad /escasez de agua depende de la demanda local. En el análisis efectuado para la evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura, utilizando el modelo Watersim, desarrollada por el International Water Management Institute (2011), se evidenció la situación mundial de la escasez del agua, cuyas definiciones e indicadores se muestran a continuación en la figura 2.

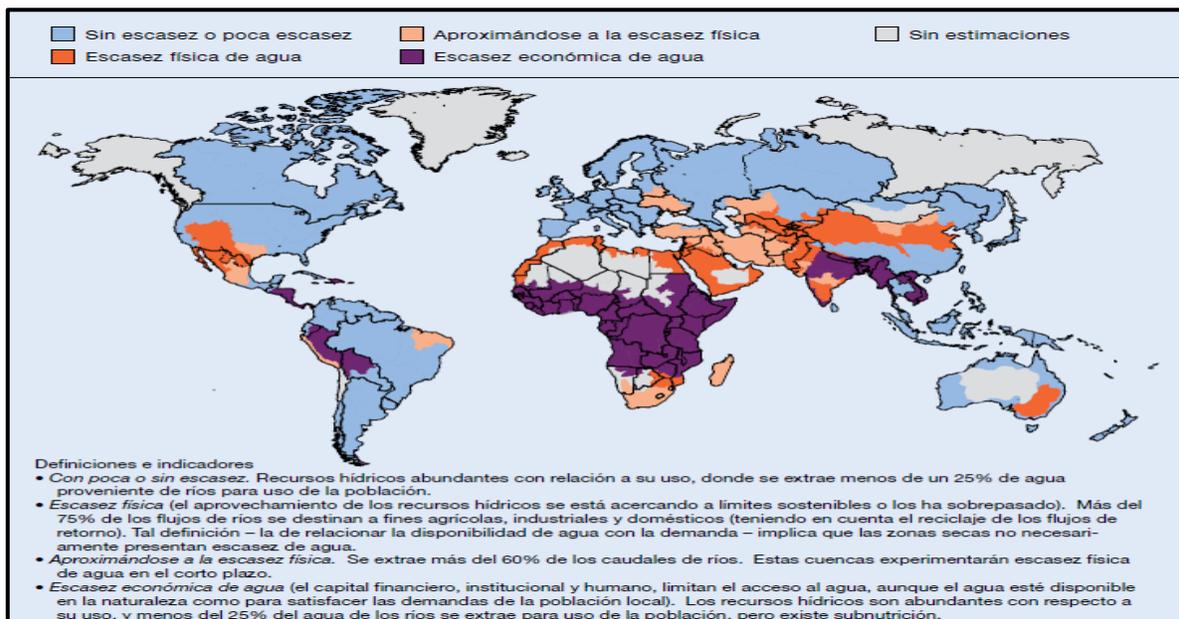


Figura 2. Situación mundial de la escasez de agua

Fuente: International Water Management Institute (2011)

Según este mismo estudio, se plantea que el sector de agricultura en el año 2050, tendrá una demanda de alimentos de 60-70% a nivel mundial, con una población mundial de 9000 millones, siendo el 30% en Centroamérica, donde aumentará en un 5% el área de agricultura alimentada con lluvia (en seco) y 7% en áreas de riego, lo que trae por consecuencias, incrementos de 10% en la utilización de agua y la agricultura de riego contribuirá con el 40% de la producción total en el 20% de las tierras cultivadas del mundo.

Esta información consolida la necesidad de conocer, si el agua que llega al suelo bajo cultivo, ya sea por el efecto de las precipitaciones, como por el riego agrícola, es bien aprovechada por los cultivos, por lo que profundizar en la identificación de ocurrencia de la repelencia en dichas áreas, contribuye a que se puedan establecer estrategias para el manejo del agua del suelo, por lo cual es imprescindible conocer el comportamiento del balance hídrico del suelo (BH).

- **Balance Hídrico del suelo (BH).** El concepto de Balance Hídrico, que ampliamente se usó en hidrología, puede causar alguna confusión al suponer que la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación; ya que, en muchos casos, sucede que las cuencas no tienen un ciclo exclusivo de su entorno. Este índice, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Como respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos ascensiones:

- a. Suponer que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable),

- b. Admitir que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).

Para realizar un balance hídrico superficial, es necesario conocer no sólo los procesos o caminos que sigue el agua en el suelo, sino también, las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar, en los cuales ellos se desarrollan; por eso, una evaluación precisa del balance hídrico, está estrechamente ligada con

la cantidad y calidad de la información disponible y, en particular, de la red de estaciones y número de años de sus registros.

Conjuntamente con este índice, es preciso tener información del comportamiento de la situación que muestra el ciclo hidrológico, con lo cual, se podrá conocer, el sentido de distribución y movimiento del agua en diferentes fases, bajo y sobre la superficie de la tierra, ya que el mismo, implica un cambio continuo de grandes masas de agua de un estado físico a otro y su transporte de un lugar a otro.

• **Ciclo hidrológico.** Para Sánchez San Román (2001), se denomina ciclo hidrológico, al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero, por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea; es decir, que es el proceso global, por el cual se considera al agua un recurso natural renovable; debido a que en esa circulación espontánea y continua, el líquido vital se purifica y retorna temporalmente a sus fuentes, que la ponen al alcance de sus múltiples demandantes.

En la Figura 3, se muestra la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra, es decir, evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

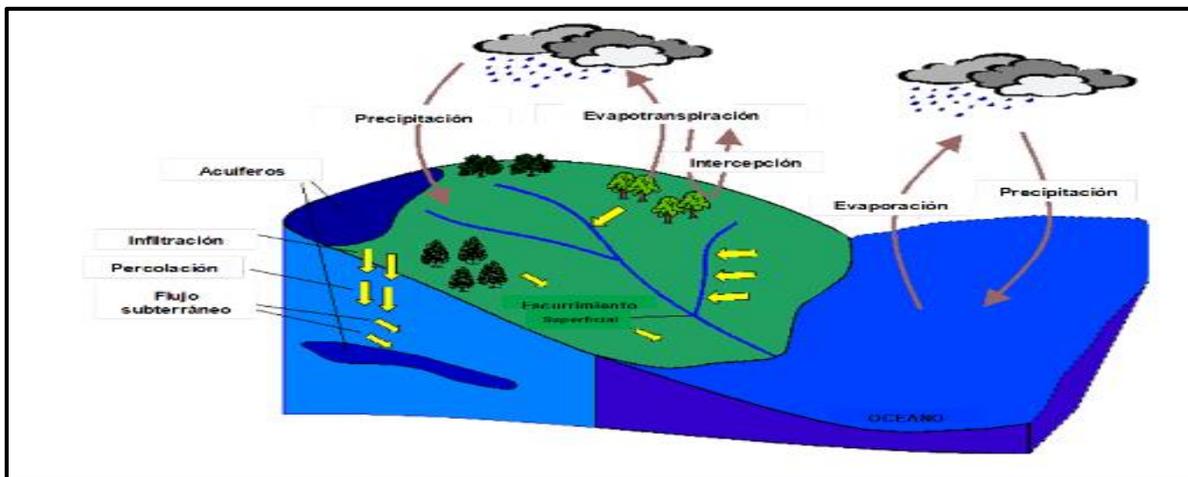


Figura 3. Representación del ciclo hidrológico

Fuente: Mus y André (2001)

Este ciclo, de conjunto con las condiciones climáticas y las propiedades del suelo, guarda estrecha relación con las condiciones de almacenamiento de agua en los suelos y su aprovechamiento por los cultivos, lo cual se detalla a continuación.

• **Almacenamiento de agua en los suelos y su aprovechamiento por los cultivos.** En estudios reportados por Mwendera (1994) se encontró que no se produce una reacción inmediata en el caudal de la escorrentía, luego de forestar una cuenca cubierta por pastos y arbustos nativos con *Pinus sp.* y *Eucalyptus saligna Smith*; sin embargo, Fahey y Jackson (1997) estimaron que luego de siete años, se produce una reducción de caudal, mientras que Putuhena y Cordery (2000) concluyeron que, los cambios ya se aprecian a los cuatro años.

En los reportes realizados por Brown et al. (2005), se indica que los resultados de experimentos de cambios en la cobertura vegetal, realizados en diversas partes del mundo como, Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica y Estados Unidos, dependen principalmente del almacenamiento de agua en los suelos y de las variaciones en las tasas de transpiración en función de la edad de la vegetación; además, se constató, que toma al menos cinco años, lograr un equilibrio hidrológico después de cada intervención.

Todos estos estudios, permiten inferir que el uso de suelo con determinadas especies vegetales, sobre todo forestales, así como, la densidad de plantación y la edad de las mismas, son factores determinantes en el comportamiento del almacenamiento de agua en los suelos y de las variaciones en las tasas de transpiración, lo cual justifica la necesidad de manejar de forma sostenible las propiedades hidrológicas del suelo

• **Propiedades hidrológicas del suelo.** Estas propiedades se encuentran representadas por: tasa de infiltración, conductividad hidráulica saturada, permeabilidad de aire e índice de continuidad de poros.

Dichas propiedades están determinadas por el uso histórico, por lo que, conocerlas y cuantificar las tasas de transporte de sedimentos en pequeñas cuencas, provee de valiosa información para implementar prácticas de manejo; además, permiten explicar, en parte, las mayores concentraciones y cargas de sedimentos en

suspensión y de fondo, al comparar las cantidades de una microcuenca con plantación con otra cubierta con bosque nativo (Lee, 1980).

Por lo que puede inferirse que estas propiedades, tienen una gran influencia sobre la escorrentía superficial, el transporte de sedimentos y la permeabilidad, en correspondencia con los resultados reportados por Ward y Trimble (2004).

a) Tasa de infiltración

Numerosos estudios han demostrado que la tasa de infiltración en bosques con suelos no alterados, normalmente excede la intensidad de la lluvia y, por lo tanto, predominan los flujos subsuperficiales (Ward y Trimble, 2004), los cuales son especialmente favorecidos, por diferentes factores, tales como, el sistema radical profundo y bien desarrollado de la vegetación arbórea, la materia orgánica, la actividad biológica del suelo, la alta porosidad y la baja densidad aparente, especialmente del horizonte A (Germer et al., 2010).

De igual modo, Terlien (1998) y Lal y Shukla (2004), refieren que la infiltración depende de varios factores, entre los que destacan las propiedades del terreno (posición en la pendiente y ondulación) y otros propios del suelo, como textura, estructura, contenido de agua precedente, tamaño y continuidad de poros, potencial matricial y cobertura vegetal.

Los usos del suelo, asociados con actividades antrópicas, tales como agricultura, pastoreo y manejo forestal, pueden afectar negativamente las tasas de infiltración y, de este modo, aumentar la escorrentía superficial, acelerando los procesos de erosión (Turnbull et al., 2010).

Diversos estudios como los desarrollados por Mayor et al., (2009) y Turnbull et al. (2010), han demostrado que las tasas de infiltración, a menudo decrecen, cuando la cobertura vegetal es escasa; así como, que en general, un suelo seco tendrá una tasa de infiltración mayor que uno húmedo, y poros que están mejor conectados incrementan la tasa de infiltración.

Las actividades forestales generan cargas de sedimentos que llegan a un curso de agua constituidas principalmente por sólidos suspendidos (sedimento fino) y tienen gran relevancia, tanto en los procesos biogeoquímicos de pequeñas cuencas (Gomi et al., 2005), como, en la morfología y estabilidad del canal, estos sedimentos que

se mueven en la columna de agua, y sedimentos de fondo, son partículas que se mueven en contacto con el lecho del curso de agua (Hassan et al., 2005).

- **Escorrentía superficial.** Según Turnbull et al. (2010), se le llama escorrentía cuando el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de:

- a) Escorrentía directa:** es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que comprende tanto a la escorrentía superficial, como a la su superficial (agua que, tras un corto recorrido lateral, sale a la superficie sin llegar a la zona freática).

- b) Escorrentía basal:** es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje o caudal mínimo. Una vez estimados los volúmenes de agua que se infiltran mensualmente en cada subcuenca, se establece que el agua restante, es la que va a escurrir superficialmente, lo que se denomina caudal o escurrimiento superficial.

El comportamiento de la escorrentía superficial, se representa mediante el análisis de la respuesta hidrológica para algunos eventos de precipitación durante invierno y verano. Para el cálculo de la escorrentía anual (mm) en las subcuencas y cuenca total, se utiliza una expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

Otro índice de interés en el suelo que guarda estrecha relación con la repelencia es la humedad del suelo, lo cual se explica seguidamente.

- **Humedad del suelo.** El conocimiento del contenido de humedad en medios porosos como el suelo, ha sido un tema de gran interés en varias disciplinas, porque es un parámetro ampliamente usado en las Ciencias Ambientales y específicamente, dentro de las Ciencias del Suelo, uno de sus usos está orientado hacia el establecimiento del balance del agua para necesidades de riego. En este contexto, se han desarrollado múltiples tecnologías para las mediciones del contenido de humedad edáfica, como el método estándar de gravimetría para la estimación del contenido de humedad del suelo (Noborio, K, 2001).

No obstante, la importancia del conocimiento de este índice, a criterios de Zanetti, et al. (2015), en su estudio ,también es necesario, hacer estimaciones para conocer cuando el rango de contenido de humedad, se encuentra cercano al valor de

capacidad de campo (CC), o realizar una evaluación en un rango más amplio de fuerza de retención, para conocer, por ejemplo, la situación existente en el suelo cuando las condiciones de humedad se encuentran en retenciones cercanas al punto de marchitez (PM).

• **Estimación del efecto del Cambio Climático sobre la estacionalidad y duración de la humedad del suelo en tierras agrícolas** (Topete et al. (2014)

El Cambio Climático del periodo 2040-2069 impactará las condiciones de humedad del suelo en sitios de todas las clases de textura de suelo; sin embargo, los cambios más significativos se observarán en sitios de textura media, seguidos por los de textura fina.

Por otra parte, los parámetros climáticos y de humedad del suelo que serán afectados con significancia estadística por el Cambio Climático, son temperatura, evapotranspiración potencial y longitud de la estación de crecimiento; en el caso de la temperatura y la evapotranspiración potencial, se identifica una tendencia de incremento, y para la longitud de la estación de crecimiento, una tendencia de disminución, infiriéndose que este cambio será negativo en cuanto a la disponibilidad de humedad del suelo para la práctica de agricultura, porque guarda correspondencia con la disminución del número de días húmedos y medio secos, y con el incremento del número de días secos en el año.

En términos generales, el efecto del cambio climático se manifiesta a través de las siguientes tendencias:

- a) Incremento de precipitación en sitios de textura fina y textura media.
- b) Incremento de la temperatura en sitios de todo tipo textural.
- c) Incremento de la evapotranspiración potencial en sitios de todas las clases texturales.
- d) Disminución del número de días húmedos durante el año, en sitios de todos los grupos texturales, siendo más marcada esta tendencia, en sitios de textura gruesa.
- e) Decrecimiento de los días medio secos en el año en sitios de textura gruesa y media.

f) Incremento del número de días secos al año en sitios de todos los grupos texturales, siendo más marcada esta tendencia en suelos arenosos y de textura media.

g) Disminución de la longitud de la estación de crecimiento en sitios de todas las clases texturales, siendo más evidente en el caso de la textura media, donde la disminución promedio equivale a 54 días.

Los cambios presentes y futuros en humedad del suelo de las áreas agrícolas, están ya demandando el desarrollo de medidas de adaptación para los sistemas agrícolas, pero uno de los primeros datos que se debe conocer, es la dimensión de estos cambios, para estimar el efecto del cambio climático sobre la estacionalidad y la duración de la humedad del suelo en las tierras agrícolas mediante la utilización del Modelo Newhall.

Modelo Newhall. Se enfoca a determinar los regímenes hídricos y térmico en suelos, y fue adoptado por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos de América, para describir los regímenes de humedad utilizados en el Sistema de Taxonomía de Suelos de EE. UU (Soil Survey Staff, 1975, 1992).

En este modelo, el suelo es referido como una reserva de agua con capacidad fija, el agua se añade por precipitación, la cantidad excedente de la capacidad de retención de humedad del suelo, se pierde por lixiviación profunda o escurrimiento y el agua retenida en el suelo, se pierde por evapotranspiración.

En dicho modelo se utiliza el método de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) para estimar la evapotranspiración a partir de datos de temperatura y duración del día, para lo cual se proporciona el dato de latitud.

1.1.3. Evolución histórica del estudio de la repelencia o hidrofobia

En la revisión bibliográfica realizada, se evidenció la existencia de varias propuestas para considerar que un suelo es repelente al agua, entre ellas destacan:

-Baño & Letey (1969) reportó que, aunque no es muy frecuente, la repelencia al agua o hidrofobia es una propiedad del suelo, que puede tener notables consecuencias hidrológicas, geomorfológicas, ecológicas y económicas según su grado de intensidad.

-King (1981), apuntó que un suelo arenoso y seco al aire, empieza a presentar dificultad para ser humedecido, cuando una gota de agua, colocada sobre su superficie, tarda más de 10 segundos en ser absorbida completamente por este. En estudios más recientes sobre este particular, como los reportados por Doerr et al. (2000), han propuesto que se considere el suelo como repelente al agua, cuando la gota de agua, colocada en su superficie tarde, respectivamente, más de 1 y más de 60 segundos en ser absorbida.

-Tillman et al., (1989); Coelho et al., (2005) y Miyata et al., (2010), señalan que el comportamiento repelente del suelo aumenta, cuando este sufre un proceso de secado, reflejándose en un impedimento del paso del agua hacia el interior de los agregados de suelo. Este comportamiento, se ve reflejado claramente, en las tasas de infiltración bajo cobertura, siendo menores durante el mes más seco (marzo) y luego aumentan ligeramente, hacia los meses húmedos (julio-agosto), debido probablemente a una disminución en la repelencia al agua.

-Oyarzun (1995), en el centro-sur de Chile demostraron una fuerte dependencia de las tasas de infiltración en diferentes usos del suelo con la densidad aparente y la materia orgánica, como por ejemplo, en bosques nativos no alterados se han encontrado tasas de infiltración sobre 200 mm h⁻¹, mientras que estos valores decrecen hasta aproximadamente valores de 30 mm h⁻¹ en praderas con pastoreo y < 1 mm h⁻¹ en suelos muy degradados de texturas franco-arenosos, que han estado sometidos a quemadas (37° 45' S). En otros estudios reportados más adelante, por Oyarzun et al. (1997), se encontró tasas de infiltración sobre 400 mm h⁻¹ en praderas naturales con tipo de suelos Andosoles en la precordillera de Los Andes

(40° 23' S). Estas altas tasas de infiltración, previenen el escurrimiento superficial y, por lo tanto, la erosión y el transporte de sedimentos hacia los cursos de agua.

- Doerr (1997) y Ceballos, (1999), enfatizaron en que existen algunos trabajos aislados en la primera mitad del presente siglo, los cuales detectan comportamientos hidrófobos asociados a determinados usos del suelo, pero no es hasta la Conferencia de Riverside (California-USA), a finales de los 60, cuando comienzan a proliferar numerosos estudios sobre el tema, especialmente en Estados Unidos y Australia.

-Scott (2000); Gerke et al. (2001); Buczko et al. (2002) y Wahl et al. (2003), han documentado que la hidrofobia, es una propiedad común en suelos forestales plantados con especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*, siendo particularmente severa, durante las condiciones de sequía de verano.

-Ferreira et al. (2000); Coelho et al. (2005); Mayor et al. (2009) y Miyata et al. (2010), coinciden en afirmar en sus reportes, que el fenómeno de repelencia al agua en suelos forestales, ha sido ampliamente documentado en climas mediterráneos con sequía de verano, donde se apreció que afectó los procesos de escorrentía y la respuesta hidrológica en plantaciones con especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*

Estos y otros estudios, contribuyen a fundamentar la necesidad de investigar acerca del proceso de hidrofobia o repelencia del suelo al agua, teniendo en cuenta que el manejo y aprovechamiento del agua en el desarrollo agrícola, constituye hoy, uno de los problemas de mayor interés para la subsistencia de la vida en el planeta, ya que la escasez de agua al nivel mundial, se está intensificando a causa del cambio climático, por lo que los recursos hídricos (RH) están sujetos a múltiples presiones (DeBano, L. F., 2000):

- crecimiento de la población, desarrollo económico, urbanización, aumento de consumos (demanda), conflictos, migración y contaminación;

-por cada 1°C de calentamiento global, el 7% de la población verá una reducción de 20% o más en los RRHH renovables;

-hasta el 84% del impacto económico de la sequía recae en la agricultura y la escasez de agua exacerba los efectos de la degradación en la calidad y estructura

del suelo, la materia orgánica y la humedad del suelo y, por lo tanto, en la productividad.

También DeBano, L. F. (2000), planteó que para el año 2030, habrá 28 países con disponibilidades críticas" $\leq 1,000 \text{ m}^3$ por hab. año⁻¹, por lo cual serán afectadas 800 millones de personas que vivirán en estos países, por lo que se puede afirmar que el 70% de la población mundial, pudiera estar bajo condiciones de "estrés" (entre 500 y 1000 m^3 hab. año⁻¹).

1.2. Trascendencia del grado de afectación que provoca la repelencia del suelo al agua en un sistema agrícola

Según Jordán, A. (2012) se considera que un material es hidrofóbico o repelente al agua, cuando esta no se extiende sobre su superficie, es decir, cuando el ángulo que se forma entre la superficie del agua (interface agua-aire) y la superficie del sólido (interface agua-sólido) es mayor o igual a 90°.

De lo anterior se desprende, que la repelencia al agua en el suelo, es originada por la acumulación de compuestos orgánicos hidrofóbicos en él, reduce la infiltración y la disponibilidad de agua para las plantas; incrementa la escorrentía y la susceptibilidad a la erosión; así como, puede deteriorar la estructura; genera grandes pérdidas en la producción agropecuaria y forestal, como también, puede generar vías de flujo preferencial que facilitan el movimiento de agua y de contaminantes a través del mismo (Jaramillo, 2006).

1.2.1 Principales causas que dan origen a la repelencia

Las principales sustancias orgánicas capaces de inducir repelencia al agua en los suelos pueden dividirse en dos grupos principales: hidrocarburos alifáticos y sustancias polares con estructura anfílica. Los primeros están formados por cadenas hidrocarbonadas largas, y se trata de compuestos no polares y son insolubles en agua, el segundo grupo, está formado por cadenas hidrocarbonadas que poseen un extremo polar hidrofílico y otro extremo hidrofóbico (Peñaloza, 2010)

A pesar de ser generalmente solubles en agua, las moléculas anfílicas pueden producir fácilmente cubiertas hidrofóbicas. Se cree que ambos grupos, pueden inducir repelencia al agua en los suelos (McIntosh y Horne, 1994), pero las moléculas polares (por ejemplo: ácidos grasos y determinadas ceras, como ésteres

y sales de ácidos grasos) parecen ser los principales constituyentes de las cubiertas hidrofóbicas sobre partículas minerales, como han observado varios autores (Franco et al., 2000).

A continuación, se mencionan algunas de las causas o agentes causales de hidrofobia del suelo:

a) **Sustancias del suelo.** En la actualidad, no se conocen exhaustivamente las sustancias capaces de inducir hidrofobicidad en los suelos, aunque sí se sabe que la mayoría de tales sustancias, son abundantes en los ecosistemas y son liberadas al suelo como, por ejemplo, por medio de exudados de raíces, de la fauna del suelo, hongos y otros microorganismos, o directamente como restos orgánicos en descomposición. Estos compuestos son sustancias anfifílicas, que solo causan hidrofobicidad, cuando ocurren determinados tipos de interacción molecular con la superficie de la fase sólida del suelo, a través de sus grupos funcionales polares o iónicos (Arcenegui, V, 2012).

Aunque de forma natural, el suelo contiene sustancias hidrofóbicas, como los hidrocarburos alifáticos, lixiviados de los horizontes orgánicos, la concentración de estas sustancias, depende del tipo de vegetación y las características del suelo, pero es generalmente, baja o nula por debajo de los primeros centímetros; es decir, la repelencia al agua de los suelos suele ser puramente superficial.

En el caso de una superficie hidrofílica, el agua se extiende sobre la superficie sólida, mientras que, sobre una superficie hidrofóbica, el agua aparece formando gotas redondeadas y aisladas. Si la superficie es la de un medio poroso, como el suelo, la infiltración del agua puede verse inhibida. Cuando el agua entra en contacto con una superficie rugosa de estructura granular, como es la superficie del suelo, una fracción de la superficie del agua estará en contacto con material sólido, y el resto, en contacto con el aire entre los gránulos. El aire es muy hidrofóbico, de modo que, una superficie porosa, puede alcanzar un grado de hidrofobicidad mucho mayor, que una superficie plana químicamente similar, este fenómeno ha sido descrito como superhidrofobicidad (Mataix-Solera, 2012).

b) **Hidrofobia provocada por incendios.** Los incendios tienen efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que generalmente dependen

de la severidad del incendio, provocando cambios a corto o largo plazo, incluso pueden ser permanentes o irreversibles dependiendo del suelo y la severidad del fuego, y de la gestión posterior, al paso del fuego. Tras los incendios, debido a la pérdida de la cubierta vegetal y de la hojarasca, la estabilidad estructural se convierte en una característica clave en la gestión del agua y en la pérdida, tanto de nutrientes, como de materiales del suelo (Mataix-Solera, J. y S. H. Doerr, 2004).

Según estos autores, las sustancias orgánicas hidrofóbicas en la hojarasca y en la superficie del suelo, se volatilizan durante el incendio, una pequeña parte de esta cantidad de material, es desplazada en profundidad, siguiendo el gradiente térmico hasta condensarse de nuevo a pocos centímetros bajo la superficie, dando lugar, a capas hidrofóbicas subsuperficiales.

En otros estudios, Arcenegui et al. (2008), observaron que las fusiones térmicas que se producen en determinados tipos de suelos, con una proporción importante de óxidos y de hidróxidos de hierro y aluminio en su fracción arcilla, pueden incrementar la estabilidad de los agregados. Además, la presencia de sustancias hidrofóbicas generadas durante la combustión, puede producir un aumento de la estabilidad de agregados, ya que actúan como una fina película que rodea parcial o totalmente el agregado, y, por tanto, actúan también como sustancias cementantes.

En sentido general, existen criterios como los aportados por Jordán, A. et al. (2010), de que el fuego puede inducir repelencia al agua sobre suelos, que previamente no la presentaban y que se generan gradientes de temperatura que provocan la redistribución de las sustancias hidrofóbicas en el suelo; así como, que se aprecian interacciones entre la temperatura, el contenido de agua y otras propiedades del suelo.

Según este autor, las temperaturas que se alcanzan en el suelo durante el fuego son muy variadas, ya que dependen de los factores implicados y porque el suelo, es un mal conductor del calor, por lo cual, las temperaturas que se alcanzan en capas profundas del suelo son bajas, a pesar de que las llamas sobrepasen en ocasiones los 1400 °C. Por lo tanto, durante un incendio, se produce un gradiente

de temperatura que va desde, un fuerte incremento en superficie, hasta variaciones imperceptibles a unos pocos centímetros de profundidad.

Algunos autores como Doerr, S. H. y R. A. Shakesby (2009), también han sugerido, que la repelencia al agua inducida por el fuego, es el resultado de reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso, que intensifica las uniones entre estas sustancias y las partículas del suelo, haciéndolas aún más hidrofóbicas a causa del pirólisis, más que los mecanismos de volatilización-condensación. Además, que factores como, la acumulación de cenizas, la volatilización de los compuestos orgánicos durante la combustión y su posterior condensación alrededor de los agregados del suelo, pueden inducir o incrementar la hidrofobicidad.

En la figura 4, se muestra la imagen de un bosque de especies de pinos en Alicante, después de un incendio forestal, por lo que se hace evidente su acción, ocasionando la pérdida de la cubierta vegetal y de la hojarasca, la estabilidad estructural se convierte en una característica clave en la gestión del agua y en la pérdida tanto de nutrientes como de materiales del suelo.



Figura.4. Imagen de Pinoso (Alicante) una semana después del incendio de 2003.

Fuente: Mataix-Solera, J. (2010)

c) Relación de las propiedades del suelo con el grado de repelencia

-Agregados. La estabilidad de agregados, está considerada una propiedad física, pero, dado que depende tanto de la química, como de la biología del suelo, muchos investigadores la consideran una propiedad integradora e indicativa de la salud del suelo, por lo cual, es un parámetro sintético que resume el estado de salud del ecosistema, y en el que se reflejan las perturbaciones experimentadas, es por ello

que, resulta tan valioso para estudiar los efectos del fuego en el ecosistema edáfico.(McGarry, D., 2000)

La formación de agregados representa un papel importante en los procesos físicos y biogeoquímicos, ya que afecta al movimiento y al almacenamiento del agua, a la aireación, a la actividad biológica, al crecimiento de la vegetación y a la erosión, entre otros. Por ejemplo, mantener la estructura es importante para tener un buen sistema de poros que permitan una buena infiltración, evitar procesos erosivos, permitir una buena nutrición vegetal y un buen intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera (FAO, 2003).

-Materia orgánica (MO). La resistencia a la humectación del suelo se debe principalmente a la presencia de compuestos apolares de la materia orgánica (MO) que se producen durante su mineralización y que cubren la superficie de los minerales. Con el aumento de estos compuestos, particularmente los polisacáridos, hidrocarburos alifáticos y ácidos grasos, se incrementa la estabilidad de los agregados del suelo, la capacidad de retención de agua y la conductividad hidráulica (Chenu et al., 2000)

González-Vila, F. J. y Almendros, G. (2003), plantean que es reconocido que, la repelencia al agua del suelo, es una función del tipo de MO incorporada en él, y que la esta, la induce por diversos medios, como los que se señalan a continuación:

- Los procesos de secado irreversibles en la MO, pueden inducir la repelencia al agua, principalmente en las capas superficiales de suelos de turba.
- Lixiviados de sustancias orgánicas de desechos vegetales, pueden inducir repelencia al agua en arenas y otros suelos de grano grueso.
- Productos hidrofóbicos microbiales, revisten las partículas minerales del suelo e inducen resistencia a la humectación.
- Intercambio de partículas minerales del suelo con partículas de MO, como restos de raíces, hojas y tallos también puede inducir repelencia severa al agua (Dekker y Ritsema, 2003).

Chenu et al. (2000) señalan que las sustancias orgánicas inducen una severa repelencia al agua, especialmente en suelos arenosos, pero estudios señalan que también se puede encontrar en suelos con texturas pesadas

d) Prácticas agrícolas más adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de sistemas productivos afectados por el proceso de repelencia

Específicamente, las tecnologías, son consideradas como alternativas de manejo que han sido desarrolladas en base a tradiciones familiares y capacidades socioculturales, físicas e intelectuales para la mejora de la eficiencia de los sistemas productivos. Con las tecnologías, en algunos casos, es posible atenuar otros grandes problemas que aquejan hoy a la humanidad, tales como el cambio climático, el desplazamiento de tierras productivas y la biodiversidad biológica y cultural, producto de la habilitación, urbanización e industrialización de las tierras. (Liniger H, 2008)

Las tecnologías son definidas por World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT) como “manejos que previenen y controlan la degradación de la tierra y fortalecen la productividad del campo y se clasifican en agronómicas, vegetativas, estructurales y de manejo”. Por su parte, el enfoque de las tecnologías, permite identificar los mecanismos y vías que apoyan o ayudan a introducir, implementar, adaptar y aplicar las tecnologías en el campo (WOCAT, 2008).

1.2.2. Métodos y requerimientos técnicos que facilitan la identificación y evaluación del grado de repelencia existente en un suelo de uso agrícola

• Indicadores y formas de medida de la repelencia del suelo al agua

Un indicador, describe un proceso específico o un proceso de control, por lo tanto, son particulares a los procesos que forman parte, pudiendo ser apropiados para una función determinada e inapropiados para otra. Los indicadores representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski et al. 1998) y según Adriaanse (1993), los indicadores son instrumentos de análisis, que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Debido a lo anterior, los indicadores que se pueden determinar en un sitio, podrían no ser tan importantes al ser evaluados en otro sitio. Teniendo en consideración, la relación existente entre las propiedades del suelo y la repelencia de estos al agua, es posible la identificación y evaluación del grado de repelencia existente en un suelo de uso agrícola, a partir de considerar los múltiples

componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental, por lo cual, la identificación puede ser compleja, ante la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran et al. 1996).

Por lo tanto, los criterios para la selección de estos indicadores, estarán en función de los diversos usos del suelo y son dinámicos en el tiempo; considerando esto, puede asumirse la evaluación de la repelencia al igual que la calidad del suelo, la cual debe ser evaluada basada en sus funciones específicas, entendiendo cada función como el resultado de la interacción de las diversas propiedades del suelo, de modo, que los mejores indicadores, serán aquellas propiedades que influyan significativamente sobre la capacidad del suelo para proveer cada función, los usos a los cuales se destine éste y el ecosistema, en el cual se está realizando la evaluación (Astier-Calderón, 2002).

La Tabla 1, muestra un grupo de indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo, entre los cuales, existen algunos que pueden ser utilizados para la evaluación de la hidrofobia o repelencia del suelo al agua (Astier-Calderón, 2002).

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
	Indicadores físicos
textura del suelo	Retención y transporte de agua y minerales, erosión del suelo
Profundidad del suelo	Estimación del potencial productivo y de erosión, profundidad fisiológica
Infiltración	potencial de lixiviación, profundidad y erosión
densidad aparente	Porosidad, aireación, erosión y profundidad
capacidad de agua disponible	Agua disponible para las plantas
Estabilidad de agregados	Erosión potencial, infiltración
	Indicadores químicos
Materia orgánica (C y N)	Disponibilidad de nutrientes, fertilidad y estabilidad de los agregados
Conductividad eléctrica	Actividad química y biológica, límite para el crecimiento de plantas
N, P, K extraíble	Disponibilidad de nutrientes y pérdida potencial de los mismos y productividad
Capacidad de intercambio catiónico	Almacén de nutrientes para las plantas, retención de contaminantes y poder
	Indicadores biológicos
Carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana	Actividad biológica, flujo de nutrientes, potencial catalizador microbiano de C y N
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N
Respiración microbiana	Medición de la actividad microbiana, cantidad de C en el suelo
Abundancia y diversidad de la fauna del suelo	Relación con los procesos de descomposición y mineralización de residuos
	Indicadores de relieve
Pendiente	Condiciones permisivas para la presencia de erosión
Orientación del terreno	Diferencia en parámetros estructurales (biomasa, distribución de frecuencia)
Altitud	Patrones de distribución de especies vegetales
Unidad geomorfológica	Unidad geomorfológica

Tabla 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo

Fuente: Toresani, (2009)

En estudios realizados por WOCAST (2011), en diferentes países como Argentina, Panamá, Venezuela y de Centroamérica entre otros, se desarrolló una metodología de trabajo para la evaluación de los procesos de degradación de los ecosistemas, entre los que se encontró la repelencia, para lo cual se siguieron los pasos siguientes:

1. Información general.
2. Descripción del ambiente (clima, cambios climáticos graduales, calidad del suelo, agua), ubicación y caracterización de los problemas de degradación en la zona.
3. Descripción de la tecnología (detalles técnicos, actividades y costos).
4. Impacto del uso de la tecnología sobre el ambiente natural y social.
5. Impacto de los eventos climáticos extremos sobre el desarrollo de la tecnología y sus adaptaciones.
6. Conclusiones y recomendaciones.

Para llevar a cabo este procedimiento, se emplean cuestionarios de sistematización de tecnologías, enfoque y mapeo; así como, se cuenta con un módulo de Cambio Climático. Estos estudios favorecieron la toma de decisiones y el monitoreo de los gastos para el desarrollo agrícola de las zonas estudiadas por países.

1.2.3. Influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras microbióticas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos

El término costra microbiótica o biológicas, hace referencia a un conjunto de microorganismos que viven asociados, conformando comunidades que pueden desarrollarse en las capas superficiales del suelo o bien sobre éste (Rivera V. M., 2004) y sus aportes a las condiciones del suelo ha sido reportado por diversos investigadores.

En relación con lo anterior, solo por precisar un ejemplo de las bondades de los microorganismos que constituyen este tipo de costras, es válido citar a Rivera, Manuell y Godínez (2004), quienes señalan que existen evidencias donde se sugiere la influencia de microorganismos y en especial de estas costras, en la

fertilidad y estabilidad de los suelos; así como, en la composición y abundancia de las especies que habitan en dichos ambientes.

En este mismo orden de ideas, Crespo (2008), sostiene que el *Trichoderma* spp es un microorganismo capaz de revertir un proceso de degradación de suelos, demostrando en esta investigación, que la presencia del referido microorganismo en el suelo promueve la fertilidad, aumentando las moléculas de nitrógeno, fósforo y potasio; a la vez, que degrada los compuestos clorados (donde se ha usado agroquímicos); controla patógenos o enfermedades en los suelos; incrementa los niveles de enraizamiento y acelera los niveles de germinación de semillas.

Desde la segunda mitad del siglo XX, se ha venido dando un debate sobre el término apropiado para referirse a este agregado de microorganismo; en tal sentido, Williams (1994), señala que la expresión “costras microbóticas” empleado por Belnap, es sinónimo a la corteza del suelo descrita como microfloras por Loope y Gifford, criptogámica de Kleiner y Harper, costra biológica por Danin, y como organogénica por Evenari, también ha sido referenciada como biocostras o biogénicas por Thomas y Tsoar, como microfítica por Cameron y biótica por McCune.

En general, la selección del término más apropiado para referirse a este conjunto de agregados, suele depender de los componentes más elementales que constituyen la costra, así, también se admiten denominaciones como: costra algácea, costra de líquen, costra de alga y líquen, costra de cianobacterias y alga, costra de cianobacteria y líquen, costra de líquen-musgo, entre otras (Ravelo, 2013). Sin embargo, otro factor a considerar para su clasificación, lo constituye las posibles causas de su diferencial distribución espacial característica, siendo por lo general en las inmediaciones de estructuras verticales de mediano y gran tamaño (árboles o arbustos) predominan los musgos y en los espacios sin vegetación arbórea, los líquenes (que se presentan como manchas amarillas, marrones y rosáceas) y las cianobacterias (se muestran como una matriz negruzca), lo que propicia respectivamente un aumento de la escorrentía y de la infiltración en estos microambiente (Maestre, 2008).

De esta manera, su distribución tiende a no ser uniforme en el paisaje, ya que esta no solo depende de los requerimientos específicos de cada especie para su adaptación, crecimiento y evolución bajo ciertas condiciones ambientales, sino que, los microorganismos que suelen constituir estos tapetes biológicos, son extremadamente vulnerables al disturbio, generado entre otros elementos intervinientes por el fuego y el pisoteo. De ahí, que se pueden encontrar diferentes composiciones en una misma área, influenciado quizás por la historia de incendios locales o el uso del espacio como senderos o veredas (Hawkes, 2003).

Por su parte, Toledo (2006), reportó la presencia de las costras microbóticas en Quibor, señalando que está compuesta por organismos fotosintéticos con un espesor sobre el suelo no mayor de tres milímetros y cuyos rizoides (briofitas) y rizinas (líquenes) no se extienden a más de 5 cm del perfil del suelo.

Ante lo referido, puede plantearse que la presencia de estos organismos en zonas afectadas por procesos de degradación de suelos, como la erosión y disturbadas por pisoteo de animales y ocurrencia de incendios, puede ser asociada a las condiciones ambientales existentes para su desarrollo y a su nivel de adaptabilidad a diferentes medios y regímenes climáticos.

Capítulo 2. Materiales y métodos

Se llevó a cabo una investigación de tipo No Experimental, descriptiva y de correlación múltiple. en dos fincas de la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Osvaldo Fuentes, del municipio Cumanayagua.

La información requerida, se captó con el empleo de métodos del orden teórico y empíricos, con sus correspondientes técnicas, lo cual se detalla durante la descripción del diseño de investigación.

Se elaboraron registros en tablas Excel, lo cual permitió conformar la base de datos para el procesamiento matemático y estadístico a través del Paquete Automatizado SPSS v.20.

Diseño de la investigación

La investigación fue orientada fundamentalmente al método de campo y análisis estadístico de la información y para su mejor comprensión, se estructuró en cuatro epígrafes que se corresponden con los objetivos de investigación trazados, las cuales se describen a continuación:

2.1. Caracterización de los procesos de degradación de suelos en fincas del municipio Cumanayagua, que conduzcan a cambios en propiedades del suelo

Para la caracterización se partió de conocer los principales problemas que generaron procesos de degradación en las fincas, para lo cual se empleó: observación directa, revisión documental, intercambio con productores y mediciones de campo, así como, se empleó el cuestionario WOCAT QT (Anexo1). Seguidamente, se llevó a cabo la caracterización del régimen hidrológico y disponibilidad ambiental (índice Hidro-Ambiental) existente en los dos sistemas agrícolas objeto de estudio, para lo que se siguió como procedimiento, un intercambio con decisores de la Delegación Municipal del MINAG en Cumanayagua, con el fin de conocer la situación actual de las mismas respecto a:

- presencia de procesos de degradación y pérdida de vegetación
- ocurrencia de incendios forestales
- relevancia de las unidades para la economía local, provincial o nacional

-afectaciones provocadas por eventos hidrometeorológicos recientes (sequía, ciclones tropicales, lluvias intensas, entre otros)

Para realizar el análisis de datos y el procesamiento de la información captada, se estableció un rango de valores del 1 al 4, como escala evaluativa, donde 1 se corresponde con el aspecto que aparece en menor apreciación y 4 con la mayor.

Para la valoración de este índice se consideró que las áreas cuyo valor fuera superior al 50 %, eran las que mostraron mayor afectación desde el punto de vista ambiental e hidrológico.

En el anexo 2, se muestra el procesamiento realizado al respecto.

En la caracterización de las dos fincas se desarrollaron los pasos siguientes:

Paso 1-Selección de unidades de investigación. Se efectuó un recorrido por las áreas agrícolas con el propósito de establecer las condiciones más representativas respecto a:

- diversidad de cultivos que se producen (anuales y perennes)
- sistema de riego
- suelo agrícola con aparente estabilidad
- grado visual de conservación de la vegetación natural
- suelo natural inalterado
- áreas ociosas (por suelos degradados, vegetación indeseable u otras causas)

Paso 2- Obtención de información general de las fincas. A través de la revisión documental (Anexo 6), se captó diferentes informaciones primarias, tanto de reportes oficiales como de otros documentos destacando: informes técnicos, informes de producción, Registro de la tierra, instructivos técnicos, normas legales, estudios de suelos. De lo anterior, se derivaron informaciones como las que se detallan a continuación:

- ubicación geográfica
- tipo de suelo predominante y sus principales factores limitantes edáficos que afectan la capacidad agroproductiva
- superficie total y agrícola
- uso de suelo actual y prospectivo
- producción obtenida por años (de los últimos cinco años)

Para captar información acerca del nivel de conocimiento sobre gestión de suelo para una producción sostenible y las causas que provocan la repelencia al agua (hidrofobia), así como, su incidencia en la producción agrícola y los costos de producción (Anexo 7), se aplicó una entrevista a los decisores internos a las unidades agrícolas y a personas del exterior a estas, con estrecho vínculo (por asesoramiento metodológico, revisión técnica, gestión del conocimiento, etc.)

Paso 3. Recopilación y análisis de la información climática. Para tal fin, se emplearon los datos climáticos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) perteneciente a las estaciones meteorológicas de superficie del Sistema Meteorológico de la provincia de Cienfuegos para el período 2010-2019 (Anexo 3), de la cual se tomaron los datos de las variables climáticas siguientes:

- a) Temperatura promedio mensual y anual
- b) Precipitaciones promedio mensual y anual

Paso 4. Muestreo de suelo. Se tomaron un total de 32 muestras en 2 puntos de observación distribuidos en los cuatro cuadrantes de cada punto. En cada área estudiada se realizó cada 250 m una microcala con dimensiones 40x40x40 cm (Foto 1), lo que permitió realizar las mediciones siguientes:

-Color: se empleó la Tabla de colores Munsell Standard soil Color Charts, y se siguió como procedimiento, tomar un terrón (preferentemente seco) de las capas u horizontes superficiales y se comparó su Hue y Cromo con los que aparecen en la tabla antes mencionada.

-Estructura: se llevó a cabo en cada microcala, la observación visual de la disposición de los agregados y se calificó el grado de agregación / dispersión de los agregados del suelo, con el empleo de la Herramienta Metodológica del Manual para la implementación del Manejo Sostenible de Tierras (Urquiza et al., 2011). En el Anexo 4, se muestra el procedimiento seguido con el empleo de dicha herramienta.

-Textura: se empleó el cálculo por el Triángulo Textural (Figura 5) y la clasificación que se muestra en la tabla 2.

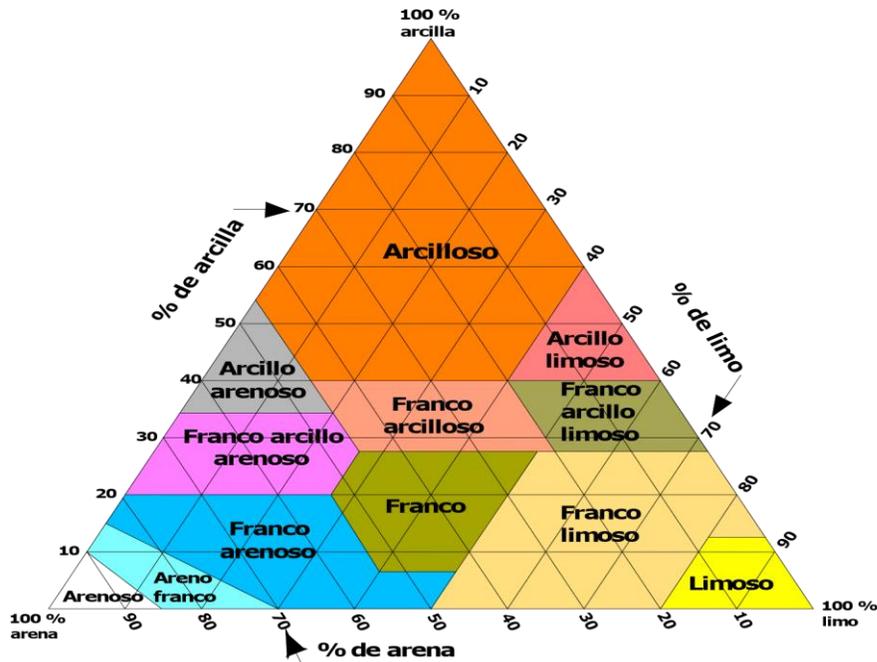


Figura 5: Representación gráfica del Triángulo Textural Prosap, (2018)

Tabla 2. Evaluación de la textura

Calificador Visual (CV)	Clase textural	Descripción
2.0 (Bueno)	Franco limoso	Harinosa, ligeramente granula y pegajoso, sin grietas. Se puede moldear una bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
1.5 (Mod. bueno)	Franco arcilloso	Gránulos moderadamente pegajoso y plástico. Se puede moldear una bola cohesiva que se deforma sin fisurarse al apretarla.
1.0 (Moderado)	Franco arenoso	Muy granosa y harinosa ligeramente arenosa. Se puede moldear una débil bola que se fisura cuando se aprieta.
0.5 (Mod. Pobre)	Arena franca	Arena franca: presenta un grano muy arenoso y áspero. Casi se puede moldear una pelota, pero esta se desintegra cuando se aprieta el suelo entre los dedos.

	Arcilla	Arcilla: tacto muy liso, muy uniforme y muy plástica. Se moldea una bola cohesiva que se deforma sin fragmentarse.
0 (Pobre)	Arena	Grano muy arenoso y áspero, no permite moldear una bola.

-Materia orgánica (MOS) en %. En cada área se observó el cambio de coloración de los horizontes del suelo a las siguientes profundidades; 0- 5, 5-25, y 25 – 50 cm. Para conocer el comportamiento de los índices de suelo restantes, pH, P₂O₅, K₂O, N₂, se utilizó el método de revisión documental, captando la información de los análisis agroquímicos efectuados por el Servicio Agroquímico del Ministerio de la Agricultura (Anexo 5).

Paso 5. Determinación del efecto del fuego sobre la repelencia al agua. La misma se determinó por el método del tiempo de penetración de la gota de agua (WDPT) (Van't Woudt,1959) que consiste en dejar caer gotas de agua destilada sobre la superficie de la muestra y medir el tiempo que tardan en penetrar en el suelo.

Para definir la clase de repelencia al agua representativa para cada muestra tomada en cinco (5) puntos de observación (en áreas quemadas y no quemadas) y se calculó la mediana de las medidas realizadas en cada punto de observación, para clasificar la clase de repelencia según se detalla en la tabla 4.

Tabla 3. Clasificación de la repelencia al agua por clases representativas

CLASE	SIGNIFICADO	TIEMPO DE PENETRACIÓN DE LA GOTA DE AGUA (WDPT)
0	no repelente	WDPT < 5 s
1	ligeramente repelente	5-60 s
2	fuertemente repelente	60-600 s
3	severamente repelente	600- 3600 s

4	extremadamente repelente	>1 h
---	--------------------------	------

Fuente: tomado de implicaciones de la repelencia al agua del suelo en la generación de escorrentía y en la erosión en un área quemada del NW de España (Rodríguez-Alleres, M.; Benito, E. y de Blas, E., 2005)

Existen autores que subdividen la clase extremadamente repelente de la forma siguiente: clase 4 (1-3 h), clase 5 (3-6 h) y clase 6 (>6h), para la investigación que se siguió no se aplicó esta subdivisión por considerarse no necesaria, dadas las características edáficas y climatológicas predominantes en las fincas objeto de estudio.

Luego, se comparó la repelencia al agua del área quemada con la del área no quemada, hasta una profundidad de 10 cm, medidos desde la superficie hacia el interior del perfil de suelo.

2.2. Análisis de la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras biológicas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios

Se seleccionó el período justo antes del inicio de las lluvias, con el fin de asegurar que los microorganismos que componen la costra vienen de tolerar una fase de desecación típica, asociada al período precedente de sequía, ya que realizar el muestreo, durante el período lluvioso, resulta irrelevante para este tipo de estudio por tratarse de organismos poliutilohídricos.

El área de muestreo, se seleccionó de manera no probabilística, bajo un enfoque intencional: una zona con intervención antrópica reducida y en donde crece la costra biológica de manera natural. Sobre este terreno, se trazaron 2 transectas o transeptos, atendiendo al criterio de exposición:

- Zona con intervención antrópica reducida, se trazó una transecta de 90 metros, en un área expuesta a la radiación solar y sin estructuras vegetales arbóreas o arbustivas que pudieran generar sombras.
- Zona donde crece la costra biológica de manera natural, para ubicar la transecta se seleccionó un área con menor exposición a la radiación solar, por encontrarse resguardada a la sombra de formas vegetales arbustivas, por lo que fue necesario reducir la extensión de la transecta a 20 metros.

Por su parte, la recolección de las muestras de suelo se realizó bajo un enfoque probabilístico de tipo sistemático: para ambas transectas, cada 10 m se colocó una cuadrata de 25 x 25 cm y a través de la tabla de dígitos aleatorios se tomaron 2 muestras de suelo por cada punto de cuadrata totalizando entre las dos transectas 26 muestras de suelo de 5 x 5 x 5 cm. Esto permitió recolectar de manera probalística muestras de suelo con y sin costras biológicas, las cuales fueron depositadas en bolsas herméticas y preservadas a una temperatura de 4°C. Por otro lado, se procedió a levantar un registro de todos los especímenes presentes dentro de la cuadrata identificados por grupos morfológicos como sugieren Rosentreter, et al (2001).

Seguidamente se desarrolla la fase de laboratorio, con el objeto de determinar las posibles variaciones introducidas en algunas propiedades del suelo a partir de la presencia de algunos organismos constitutivos de este tipo de costras, para analizar: (1) Propiedades físicas (determinación del porcentaje de humedad higroscópica; (2) Propiedades químicas (pH del suelo, Conductividad Eléctrica (CE) y Salinidad de suelos, Carbono Orgánico del Suelo (COS) y (3) Propiedades bioquímicas (contenido de Materia Orgánica (MO), contenido de dióxido de carbono (CO₂) desprendido).

2.3. Identificación de los cambios ocurridos en propiedades del suelo asociado a la presencia de los agentes causantes de la repelencia de suelos al agua en fincas del municipio Cumanayagua

En este epígrafe, se tomó en consideración llevar a cabo el análisis de indicadores de suelo y ambientales, planteados en la literatura de diferentes países revisada. Se aplicaron diferentes métodos y técnicas para captar la información requerida y que se explica en cada caso.

2.4. Formulación de propuesta de acciones que constituyan prácticas agrícolas adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de las fincas, que contribuyan a la mejora del balance hídrico del suelo y al aprovechamiento del agua por los cultivos

En este aspecto se partió de la determinación de la incidencia de los valores medidos de repelencia, y su correlación con los índices de suelos existentes en las

áreas y el comportamiento de las variables climáticas. El análisis de los epígrafes anteriores, aportó información acerca de los principales índices, que pueden ser considerados para el empleo de indicadores que permitan evaluar y monitorear los riesgos provocados, tanto por los fenómenos naturales, como por las acciones antrópicas y que contribuyen a la ocurrencia de procesos de degradación y de repelencia, de este modo, se favorece la toma de decisiones con propuestas de alternativas sobre bases científicas.

Para la elaboración la propuesta, se asumieron los problemas identificados con los indicadores agrupados anteriormente y en la definición de las acciones a proponer para cada problema identificado, se aplicó el método participativo, donde los productores en trabajo grupal, seleccionaron, aquellos que representaban mejor podían evaluar las propiedades hidrológicas y los procesos de degradación, fundamentalmente la repelencia de suelos de un agroecosistema. Se tuvo en cuenta: i) el nivel de representatividad de los atributos; ii) la confiabilidad de la información y el acceso a la misma; iii) la facilidad de la medición de los indicadores; y iv) la necesidad de considerar todas las áreas de evaluación. Una vez estructurada la propuesta, se llevó a cabo su validación teórica siguiendo los criterios de los participantes en el trabajo en grupo.

Capítulo 3. Resultados y discusión

La zona de estudio se localizó en el consejo popular creso, municipio cumanayagua, provincia de Cienfuegos, el estudio se llevó a cabo en suelos de uso forestal y de cultivos varios, correspondientes a dos fincas que pertenecen a la CCS Osvaldo Fuentes, en las cuales se aplicaron diferentes métodos y técnicas, con el fin de evaluar la presencia del proceso de repelencia del suelo al agua, tanto en áreas afectadas o no por incendios reiterados anualmente.

Como resultados de la revisión documental efectuada, se llevó a cabo el análisis de la Base Climática (período ene 2016- nov 2021) de la Estación Meteorológica de Superficie La Piedra, del municipio Manicaragua, provincia de Villaclara (Anexo 3), ya que es la más cercana a la zona de estudio; derivado de lo cual se encontró que, la temperatura media anual para un período de cinco (5) años (figura 6) varía de 25.0 a 22.5 °C, respectivamente.

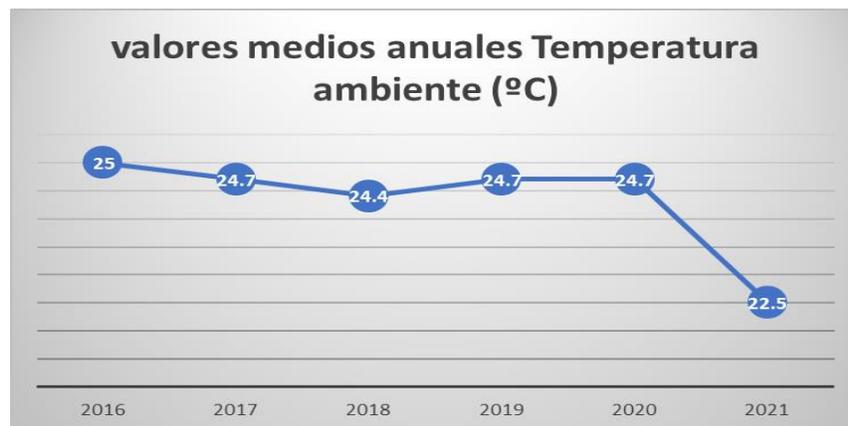


Figura: 6 Comportamiento de la temperatura ambiente media anual (período 2016-2021). Fuente: Base climática Estación Meteorológica de Superficie “La Piedra”, municipio Manicaragua, provincia de Villaclara

En la figura 7 se aprecia el comportamiento de los valores medios mensuales de la temperatura ambiente

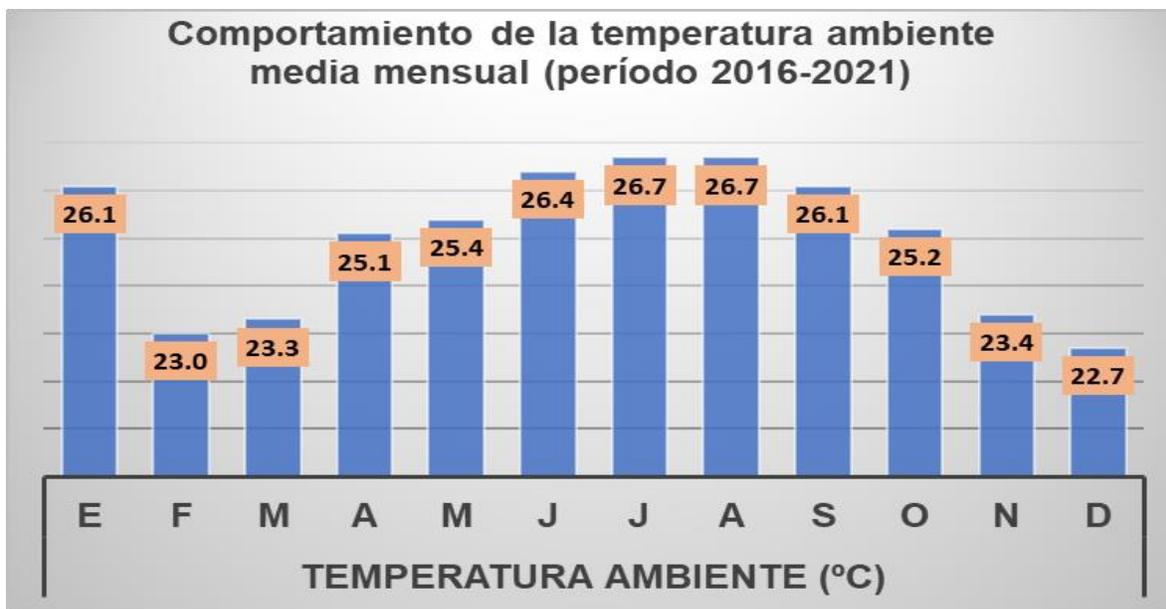


Figura: 7 Comportamiento de la temperatura ambiente media mensual (período 2016-2021). Fuente: Base climática Estación Meteorológica de Superficie “La Piedra”, municipio Manicaragua, provincia de Villaclara

De este análisis se puede afirmar que las temperaturas más bajas se corresponden con los meses de febrero, marzo, noviembre y diciembre, pero estos valores no son tan bajos como para influir negativamente en el desarrollo de los cultivos establecidos en las fincas estudiadas.

Por otra parte, el comportamiento de la Humedad Relativa en el mismo período, según se muestra en las figuras 8 y 9, no se comporta con grandes diferencias entre los años, sin embargo, en las medias mensuales si puede apreciarse una marcada diferencia entre los meses febrero-marzo y octubre noviembre, lo cual para la proyección del uso de suelos para los cultivos varios.



Figura:8: Comportamiento de la Humedad Relativa media anual (período 2016-2021)

Fuente: Base climática Estación Meteorológica de Superficie “La Piedra”, municipio Manicaragua, provincia de Villaclara

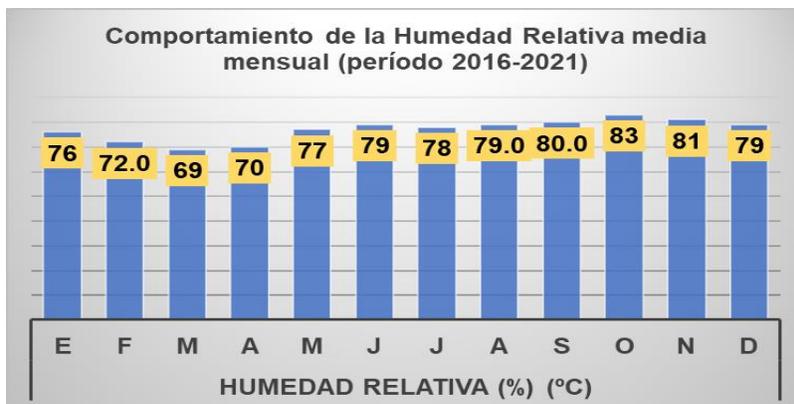


Figura 9: Comportamiento de la Humedad Relativa media mensual (período 2016-2021). Fuente: Base climática Estación Meteorológica de Superficie “La Piedra”, municipio Manicaragua, provincia de Villaclara

Del registro del Pluviómetro establecido en la zona de estudio, el análisis de las precipitaciones media anual y mensual, para el período 2016-2021, aportó que el comportamiento de este período, muestra una media anual de días de lluvia que varía entre 37.9 - 35.7 y los valores de precipitación media anual es de 124,3 mm, por lo anterior, puede plantearse que el clima, es ligeramente húmedo.

Este comportamiento del clima, permite establecer estrategias para cultivo y el manejo de incendios forestales, en ambas fincas, de modo que se aprovechen las

temperaturas, la humedad relativa y las precipitaciones, para el desarrollo de los usos de suelos actuales y alternativos, para alcanzar una agricultura sostenible.

3.1. Resultados de la investigación

A continuación, se presentan los resultados arribados, con la aplicación de los diferentes métodos y técnicas planificadas en la investigación, para cada una de las etapas que se corresponden con los objetivos trazados.

3.1. 1. Resultados de la caracterización de los procesos de degradación de suelos en fincas del municipio Cumanayagua, que conduzcan a cambios en propiedades del suelo

En la caracterización de las dos fincas, a partir del cumplimiento de los pasos planificados, se obtuvo lo siguiente:

Paso 1-Selección de unidades de investigación. En el recorrido por las áreas agrícolas se encontró que las condiciones más representativas tienen el comportamiento que se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Resultado de la situación actual de las fincas

Indicadores	Finca 1	Finca 2
Diversidad de cultivos que se producen (anuales y perennes)	Bosques forestales(Eucaliptus)	Los principales cultivos son(frijol, yuca, boniato)
Sistema de riego	No se implementan sistemas de riego	No se implementa sistema de riego
Suelo agrícola con aparente estabilidad	No	Si

Grado visual de conservación de la vegetación natural	45% de vegetación	80% de vegetación
Suelo natural inalterado	No	Si
Áreas ociosas (por suelos degradados, vegetación indeseable u otras causas)	0.80 ha	0.50 ha

La zona de estudio donde se encuentran situadas las dos fincas, se caracteriza por mostrar pendientes calificadas en el rango ligeramente ondulado a ondulado, con suelos desarrollados sobre material calizo.

El uso de suelos de las fincas seleccionadas para el estudio es, en el caso de la Finca 1 (Los Cocos) es el 100 % de la superficie agrícola es forestal y la Finca 2 (Las Delicias) el 40 % es cultivos varios y el resto a la producción animal (ganado vacuno).

Desde el punto de vista de la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (IS, 1989), los suelos predominantes con sus correspondientes características y factores limitantes se comportan de la forma que aparece a continuación:

Tabla 4. Resultados de la revisión del estudio de suelos

Finca	Tipo de suelo	Principales características	Factores limitantes para el uso agrícola	Categoría Agroproductiva
1- Los Cocos	Pardo sin Carbonatos	Suelo de color pardo oscuro a pardo amarillento en profundidad, muy poco profundo (profundidad	Muy poco profundo (profundidad efectiva 21 cm)	IV

		efectiva 21 cm) y poco erosionado, pendiente ondulada	y poco erosionado, pendiente ondulada	
2-Las Delicias	Pardo sin Carbonatos	Suelo de color pardo oscuro a pardo amarillento en profundidad, medianamente profundo (profundidad efectiva 40 cm), poco erosionado, poco pedregoso y pendiente ondulada	Poco erosionado, poco pedregoso y pendiente ondulada	III

Fuente: mapa básico estudio genético de suelos escala 1:25 000, II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (IS, 1989).

Resultados de la entrevista, acerca del nivel de conocimiento sobre gestión de suelo para una producción sostenible y las causas que provocan la repelencia al agua, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: resultados de la entrevista

No	Interrogantes		% SI	% NO
1	¿Dónde se observa la ocurrencia del proceso de repelencia en su finca	a. Superficie afectada por incendios recientes	87	13
		b. Superficie dónde no han ocurrido incendios nunca	33	67
2	¿Cuáles son las características/ elementos principales a tomar en consideración para determinar la repelencia al agua:	a-Observar el color del suelo	20	80
		b-Acumulación de ciertos compuestos orgánicos en la capa superficial del suelo	80	20
		c- Presencia de hidrocarburos alifáticos que son apolares	0	100

		d-Al observar los suelos de su finca, se cumple que los de alto contenido de materia orgánica muestran más afectaciones causadas por altos niveles de repelencia al agua.	60	40
		e-Los suelos clasificados como arenosos, presentan niveles de repelencia más altos, que los suelos que tienen una composición importante de fracciones finas como las arcillas.	80	20
3	Conoce Ud., los problemas/ síntomas de degradación que pueden observarse en su finca como consecuencias de la repelencia.		40	60
4	¿Conoce Ud., qué actividades/insumos principales se requieren para establecer/ mantener los suelos de su finca afectados por el proceso de repelencia?		40	60
5	¿Conoce Ud., cuáles son los impactos de los procesos de repelencia a nivel de finca?		40	60

Como se demuestra en la tabla 5 en sentido general puede afirmarse que existe desconocimiento, tanto en decisores como en productores, sobre gestión de suelo para una producción sostenible y las causas que provocan la repelencia al agua, lo cual de modo particular para estas fincas constituyen un problema a resolver en el

corto plazo, para mitigar las vulnerabilidades que presentan estos sistemas agrícolas para obtener mejores resultados.

Por lo que es recomendable, el uso de soluciones tecnológicas para la recuperación de suelos con potencial de producción agrícola y que anualmente son afectados por incendios originados por diferentes causas, otros aspectos clave de este proceso de recuperación debe recaer sobre la concientización y capacitación de los productores, de modo que comprendan por qué en el suelo pueden ocurrir procesos de degradación y de repelencia al agua bajo diferentes usos.

A partir de lo recomendado, es posible cultivar y proteger el suelo para producir sin provocar erosión u otros procesos de degradación, realizando un trabajo diferenciado con los productores y con los decisores para alcanzar una solución aceptada socialmente y sostenible.

• **Principales problemas que generaron procesos de degradación en las fincas:**

a) **Resultados del análisis de la observación directa:**

-Finca 1, se observó poco cambio en la coloración del suelo, a pesar de que muestra algún síntoma de poca erosión, ya que su superficie se mantiene cubierta la mayor parte del año, al dedicarse al cultivo de forestales, sin embargo, no se aplican medidas conservacionistas y en algunas áreas se evidenció arrastres de suelo por escorrentía. La zona donde se ubica esta finca, anualmente en período de sequía es afectada por incendios forestales de poca duración (10-15 horas), lo que conlleva a que en estos lugares el porcentaje de cobertura boscosa ha disminuido anualmente en un 20 % y no se planifican medidas de renovación forestal.

-Finca 2. En esta finca dedicada a los cultivos varios, pudo apreciarse de forma visual, algunos cambios de coloración del suelo, al mantenerse por tiempo prolongado sin cobertura, durante el proceso de preparación de suelos, esta exposición al intemperismo (acción del viento y la lluvia) lo que ha conllevado a que ocurran pérdidas de la capa fértil superficial del suelo por la ocurrencia de procesos erosivos.

b) **Resultados de la revisión documental:** en este análisis se evidenció, que ambas fincas muestran como mayor dificultad, la falta de fuerza de trabajo, provocado entre otras causas, por baja remuneración de la actividad agrícola y la distancia a que están ubicadas de las comunidades y poblados del municipio Cumanayagua.

También en la revisión documental se encontró, que ambas reciben pocos insumos y en el caso de la finca 2, se desaprovechan los restos de cosecha, por lo cual no se produce abonos orgánicos o compost para la mejora de la fertilidad de los suelos. Otro aspecto evaluado en la revisión de los planes de capacitación anual, es que no se evidenciaron acciones de capacitación enfocadas al manejo sostenible de los agroecosistemas, por lo cual, los trabajadores muestran bajo conocimientos acerca de estos temas, implicando que no se produzca con criterios de sostenibilidad.

c) **Resultados del intercambio con productores.** Se llevó a cabo una reunión inicial con la junta directiva de la CCS Osvaldo Fuentes y de las fincas seleccionadas para conocer las afectaciones provocadas a la actividad agropecuaria que desarrollan, tanto los procesos de degradación de suelos, como la ocurrencia de incendios en los períodos de sequía, de lo cual se obtuvo poca información ya que los productores manifestaron en más del 80 %, no tener conocimientos de cómo evaluar esta incidencia.

d) **Resultados de las mediciones de campo**

-Resultados del muestreo de suelo. Las observaciones realizadas a nivel de microcala (Foto 1), permitió conocer lo siguiente:



Foto 1. Lugar: CCS Osvaldo Fuentes, autor: Yaniel García Aparicio, fecha: mayo/ 2021

-Color: según los valores contenidos en la Tabla de colores Munsell Standard soil Color Charts, las capas u horizontes superficiales muestran valores Hue y Croma que permite calificar el color 10YR 2/2, lo cual es característico de los tipos de suelos Pardos.

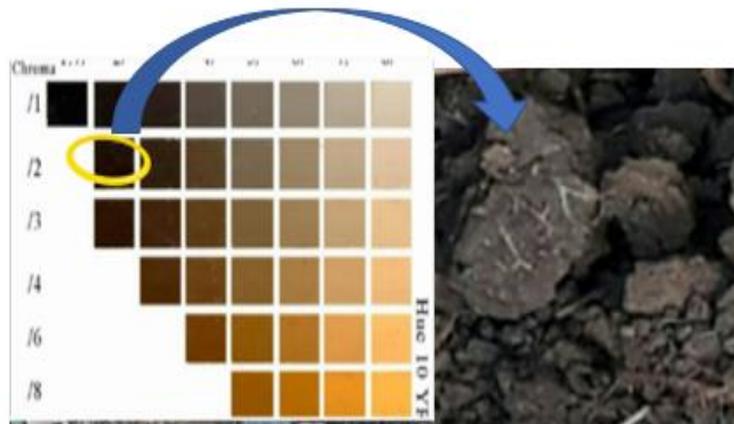


Foto 2. Lugar: CCS Osvaldo Fuentes, autor: Yaniel García Aparicio, fecha: mayo/ 2021
tabla Musell

El color del suelo, como un indicador del estado actual de drenaje (o aeración), permitió inferir que estos suelos no presentan problemas de drenaje; además, puede reflejar el contenido de materia orgánica del suelo, siendo este indicador especialmente útil cuando se evalúan suelos dedicadas al cultivo intensivo, en este caso por la tonalidad oscura, puede inferirse que este suelo, muestra síntomas de contener materia orgánica.

-Estructura: la observación visual de la disposición de los agregados en ambas fincas, permitió calificar el grado de agregación / dispersión de los agregados del suelo, de la forma siguiente:

- a) No hay dispersión (aunque puede ocurrir desagregación) (puntaje = 4).
- b) El agregado permaneció intacto sin desagregación ni dispersión [puntaje = 4]

-Textura: Según los métodos empleados, el tipo de suelo predominante en ambas fincas posee textura arcillosa (muy liso al tacto, muy uniforme y muy plástica. Se moldea una bola cohesiva que se deforma sin fragmentarse).

Como resultados del muestreo de suelos se obtuvo la información que aparece en la tabla 6.

Tabla 6. Características físicas del suelo en los sitios de estudio

Finca	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Materia orgánica (%)
1	0-29	26.0	22.5	41.5	2.05
	29-65	0	0	0	0
2	0-29	18.6	21.4	44.0	1.22
	29-65	0	0	0	0
	65-81	0	0	0	0

Fuente: análisis físico de suelos realizado en las fincas (año 2016)

De acuerdo a esta tabla, puede afirmarse que estos índices físicos de suelo que se presentan, corresponden en ambas fincas a la evaluación realizada con anterioridad respecto a índices como color, textura y estructura. Se precisa hacer énfasis en que el comportamiento de los mismos, deben ser evaluados de forma sistemática, por su relación con los procesos de repelencia, ya que lo planteado acerca de que un líquido puede infiltrarse sólo cuando el ángulo de contacto es menor de 90° es falsa, sobre todo en los suelos con moderada infiltración, lo cual coincide con lo reportado por Shirtcliffe, et al. (2006).

Resultados de la determinación del efecto del fuego sobre la repelencia al agua

En las fotos 1 y 2 se muestra el comportamiento de penetración de la gota de agua destilada sobre la superficie de la muestra de suelo.



Foto 3. Muestra de suelo, finca 1
4. Muestra de suelo finca 2



Foto

En las muestras de suelo recolectadas en las fincas objeto de estudio se observa la capacidad de repelencia del suelo al agua, en la foto 3 donde ocurrió un incendio recientemente es menor la velocidad de infiltración del agua lo que limita la capacidad cultivable del suelo, contribuyendo al proceso de erosión y a la escorrentía, mientras que la foto 4 al no presentar la ocurrencia de incendios la velocidad de infiltración del agua no se ve afectada. En la tabla 7, se presenta la severidad de repelencia al agua observada en las áreas quemada (Finca 1) y no quemada (Finca 2), lo que permitió la definición de la clase de repelencia al agua representativa para cada muestra tomada en cinco (5) puntos de observación en cada área.

Tabla 7. Resultados de la clasificación de la repelencia al agua por clases representativas

Finca 1. Los Cocos			
Tiempo de infiltración del agua por Puntos de medición (seg)	VALOR MEDIO	CLASE	SIGNIFICADO

Profundidad de muestreo (cm)	1	2	3	4	5			
0-5	5	5	5	6	5	5	1	LIGERAMENTE REPELENTE (5-60 s)
5 a10	6	6	6	5	6	6	1	LIGERAMENTE REPELENTE (5-60 s)
10 a 15	3	3	2	2	3	3	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)
15 a 20	3	3	3	3	3	3	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)
Finca 2. Las Delicias								
Tiempo de infiltración del agua por Puntos de medición (seg)					VALOR MEDIO	CLASE	SIGNIFICADO	
Profundidad de muestreo (cm)	1	2	3	4				5
0-5	3	2	3	2	3	3	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)
5 a10	3	3	3	3	4	3	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)
10 a 15	2	2	2	3	3	2	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)
15 a 20	3	3	3	3	3	3	0	NO REPELENTE (WDPT<5 s)

Según se aprecia en la tabla anterior, en la Finca 1, se observó una ligera repelencia al agua por debajo de 10 cm, lo que demostró que el incendio contribuyó a la presencia de la repelencia en la capa más superficial (0-10 cm), desapareciendo totalmente en profundidad. En este caso se plantea que la repelencia se encuentra calificada entre las clases, 1 que significa Ligeramente Repelente (5-60 s) y 0, No Repelente (WDPT<5 s), este comportamiento pudiera ser provocado por la combustión de la materia orgánica, lo que produce compuestos orgánicos en forma de vapor, que se mueven desde la superficie a capas inferiores más frías, donde se condensan creando una capa subsuperficial fuertemente hidrófoba, coincidiendo con lo planteado al respecto por DeBano, L.F., et al. (1970). Y por Bisdorn, E.B.A et al., (1993), ya que en este suelo la hidrofobicidad fue originada en la capa que lo recubre superficialmente, formada por intermezclas de partículas minerales del suelo con materia orgánica fresca (restos de raíces, hojas, tallos).

Este resultado coincide también con los reportes de Hepper, E.N., et al. (2010), los cuales concluyeron que, el uso de una quema controlada puede producir

disminución de la infiltración de agua en el suelo con cobertura vegetal dominada por especies no forrajeras, debido al aumento de repelencia superficial natural y por la formación de una capa hidrofóbica a 1 cm de profundidad.

Finalmente puede afirmarse que los niveles de repelencia al agua cuantificados en el presente estudio, pueden considerarse que no son suficientemente elevados, ni presentan la suficiente continuidad espacial, como para provocar elevadas tasas de escorrentía y erosión en los suelos de uso agrícolas estudiados en la finca 1, que es donde ocurren anualmente incendios forestales, sin embargo no se descarta la posibilidad de que estos procesos degradativos puedan ocurrir después de los incendios, si no se restablece la vegetación rápidamente.

Ante lo planteado con anterioridad, se recomienda la necesidad de realizar estudios más profundos en estas áreas, haciendo el estudio extensivo a mayor cantidad de superficie afectada por incendios anualmente en la finca.

Otro aporte de estos resultados, es que ha quedado evidenciada la necesidad de establecer como medidas de mejora la aplicación de buenas prácticas agrícolas, que evite el abandono de estas áreas, ya que este supone un aumento de la repelencia; así como, evitar la acumulación excesiva de cobertura de maleza y hojarasca aportada por la vegetación, favoreciendo su rápida descomposición por medio de alguna práctica de laboreo que permita una buena aireación de la capa superficial del suelo.

3.2. Resultado del análisis de la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras biológicas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios

En el estudio realizado se observó la presencia de costras biológicas de suelo con predominio de musgos y líquenes con mayor porcentaje de cobertura en la Finca 1 “Los Cocos”, sobre todo entre las especies forestales que fueron afectadas por incendios forestales en proceso de recuperación, es preciso señalar también, que estas especies se pudieron observar mejor en el período lluvioso de mayo- abril.

Posterior al trabajo en campo, se debió desarrollar la fase de laboratorio, con el objeto de determinar las posibles variaciones introducidas en algunas propiedades

del suelo a partir de la presencia de algunos organismos constitutivos de este tipo de costras, para analizar: (1) Propiedades físicas (determinación del porcentaje de humedad higroscópica; (2) Propiedades químicas (pH del suelo, Conductividad Eléctrica (CE) y Salinidad de suelos, Carbono Orgánico del Suelo (COS) y (3) Propiedades bioquímicas (contenido de Materia Orgánica (MO), contenido de dióxido de carbono (CO₂) desprendido), lo cual no fue posible por la situación del país con las medidas aplicadas para la COVID- 19, lo que limitó la movilidad en los territorios, e impidió poder concluir la toma de muestras en campo y realizar la fase de laboratorio.

3.3. Resultado de la identificación de los cambios ocurridos en propiedades del suelo asociado a la presencia de los agentes causantes de la repelencia de suelos al agua en fincas del municipio Cumanayagua

Se evaluaron un total de seis (6) indicadores los cuales, de forma explícita se muestran en el Anexo 8, y se agruparon en:

Grupo I. INDICADORES PARA EVALUAR EL SUELO

1-Prácticas agrícolas

2.Humedad del suelo

Grupo II. INDICADORES AMBIENTALES

3.Cambios en el ecosistema

4.Ocurrencia de incendios forestales

5- Presencia de costras biológicas

6-Recursos forestales

Ambas fincas fueron evaluadas con estos indicadores, encontrándose las mayores dificultades en los que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la aplicación de los indicadores para evaluar las fincas objeto de estudio

FINCA 1. LOS COCOS

Indicadores	Criterios	Calificación	Observación
INDICADORES PARA EVALUAR EL SUELO			
1-Prácticas agrícolas	1.6. Implementación de prácticas de conservación de suelos	2	Desconocimiento acerca de cuáles prácticas deben aplicar
	1.9. Prácticas de manejo de suelos para incrementar el Carbono orgánico (SOC) y el Nitrógeno Total (TN).	2	Desconocimiento acerca de cuáles prácticas deben aplicar
2.Humedad del suelo	2.4. Homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	2	Se empieza a secar alguna parte de la sección del suelo después de caída la lluvia.
	2.6. Eficiencia del uso de la lluvia	2	No se emplean de medidas de conservación o cosecha del agua de lluvia.
INDICADORES AMBIENTALES			
4.Ocurrencia de incendios forestales	4.1. Área afectada	2	
	4.3. Especies vegetales afectadas	2	
	4.4. Aplicación de medidas preventivas contra incendios	2	

6-Recursos forestales	6.3. Presencia de diversidad de especies	2	
	6.4. Presencia de especies no deseables (pequeñas leñosas y espinosas, otras)	2	
	6.5. Implementación de vegetación natural	2	
	6.6. Actividades de reforestación	2	

FINCA 2. LAS DELICIAS

Indicadores	Criterios	Calificación	Observación
INDICADORES PARA EVALUAR EL SUELO			
1-Prácticas agrícolas	1.6. Implementación de prácticas de conservación de suelos	2	Desconocimiento acerca de cuáles prácticas deben aplicar
	1.8. Reducción de la cubierta vegetal	2	Algunos campos en fase de preparación de tierras se mantienen sin cobertura más tiempo que el que se corresponde para esta actividad por demoras con la semilla y otros recursos.
	1.9. Prácticas de manejo de suelos para incrementar el Carbono orgánico (SOC) y el Nitrógeno Total (TN).	2	Desconocimiento acerca de cuáles prácticas deben aplicar
2.Humedad del suelo	2.4. Homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	2	Se empieza a secar alguna parte de la sección del suelo después de caída la lluvia.
	2.5. Presencia de horizontes con compactación o pie de aradura	2	Se observó PIE de ARADURA en más del 50 % de los campos

	2.6. Eficiencia del uso de la lluvia	2	No se emplean de medidas de conservación o cosecha del agua de lluvia.
INDICADORES AMBIENTALES			
3.Cambios en el ecosistema	3.2. Comportamiento de la biodiversidad del suelo	2	No se observó lombrices ni otros organismos durante la evaluación visual del suelo (EVS)
4.Ocurrencia de incendios forestales	4.1. Área afectada	2	
	4.3. Especies vegetales afectadas	2	
	4.4. Aplicación de medidas preventivas contra incendios	2	

Como se aprecia en ambas fincas, los indicadores que se relacionan con la repelencia al agua en el suelo (Humedad del suelo y Ocurrencia de incendios forestales), son calificados en el rango MAL (2), lo que coincidiendo Jaramillo,D, (2006), se observó reducción de la infiltración y la disponibilidad de agua para las plantas; así como, incrementos de la escorrentía superficial y la susceptibilidad a la erosión; aspecto este que influye de forma negativa en la gestión de la producción agropecuaria y forestal de ambas fincas.

Estos indicadores evaluados con calificación 2, pueden considerarse, por lo tanto, problemas a resolver en el corto y mediano plazo por la junta de dirección de cada finca, por lo que se recomienda deben apoyarse en organizaciones y organismos que puedan aportarles conocimientos, financiamiento (si este no puede ser considerado dentro de la planificación del presupuesto de inversiones u otros), para lo cual se precisa establecer un Programa de acciones.

3.4. Formulación de propuesta de acciones que constituyan prácticas agrícolas adaptables a las condiciones edafoclimáticas, productivas y sociales de las fincas, que contribuyan a la mejora del balance hídrico del suelo y al aprovechamiento del agua por los cultivos

Tabla 9. Propuesta de acciones que constituyen Prácticas agrícolas para el aprovechamiento del suelo

PROPUESTA DE ACCIONES (FINCA 1)			
No	Problema a resolver	Acciones propuestas	Necesidades para su implementación
1	No se cuenta con prácticas de manejo de suelos para incrementar el Carbono orgánico (SOC) y el Nitrógeno Total (TN)	Establecer programa de acciones para el Manejo Sostenible del suelo, agua y biodiversidad.	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Programa Nacional para la Conservación y Mejoramiento de Suelos
2	Baja eficiencia del uso de la lluvia	Desarrollar acciones encaminadas al aprovechamiento del uso del agua lluvia	Plan de inversiones o captación de financiamiento externo (Programas nacionales o Proyectos de colaboración internacional)
3	Ocurrencia de incendios forestales anualmente	Desarrollar acciones encaminadas a la protección frente al fuego de la superficie cultivada	Plan de inversiones o captación de financiamiento externo (Programas nacionales o Proyectos de colaboración internacional)
4	Disminuida la presencia de diversidad de especies	Establecer programa de acciones para el Manejo Sostenible	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Programa Nacional para la Conservación y Mejoramiento de Suelos

		del suelo, agua y biodiversidad.	
5	No se presenta homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	Realizar estudios profundos acerca de las causas que provocan repelencia al agua en los suelos de uso agrícola de la finca.	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Programa Nacional para la Conservación y Mejoramiento de Suelos
6	No se realizan labores de reforestación	Establecer programa de acciones para el incremento de la actividad de reforestación de forma sistemática	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Fondo Nacional para el Desarrollo Forestal de Cuba (FONADEC)
PROPUESTA DE ACCIONES (FINCA 2)			
1	No se cuenta con sistema de riego establecido	Establecer acciones encaminadas a lograr la aplicación de riego en los cultivos establecidos.	Plan de inversiones o captación de financiamiento externo (Programas nacionales o Proyectos de colaboración internacional)
2	No se implementan prácticas de conservación de suelos	Establecer programa de acciones para la conservación del suelo	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Programa Nacional para la Conservación y Mejoramiento de Suelos

3	No se presenta homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	Realizar estudios profundos acerca de las causas que provocan repelencia al agua en los suelos de uso agrícola de la finca.	Solicitar asesoría técnica y financiamiento al Programa Nacional para la Conservación y Mejoramiento de Suelos
---	---	---	--

Para la implementación de esta propuesta, se recomienda a la dirección de ambas fincas, la conformación de un grupo implementador cuyas competencias laborales y profesionales les permitan dar seguimiento al cumplimiento de estas acciones, así como, monitorear su evolución en el tiempo con los indicadores para evaluar el suelo y los indicadores ambientales antes empleados.

También, se recomienda desarrollar estudios más profundos relacionados con la evaluación de la repelencia y sus causas, para lo que se partirá de establecer una adecuada gestión del conocimiento con el fin de incrementar el nivel de precepción acerca de este proceso que genera bajo nivel de aprovechamiento del agua disponible para las plantas, ya sea la que reciben a través de la lluvia o del sistema de riego que se implemente.

En coincidencia con DeBano, L. F. (2000), dichos estudios, son de suma importancia en la actualidad, porque contribuirán a mejorar el manejo y aprovechamiento del agua en el desarrollo agrícola, aspecto este que representa uno de los problemas de mayor interés para la subsistencia de la vida en el planeta, ya que la escasez de agua al nivel mundial, se está intensificando a causa del cambio climático, y los recursos hídricos están cada vez más, sujetos a múltiples presiones.

Conclusiones

1- Fueron caracterizados como los procesos de degradación que originan cambios en propiedades de suelos, la ocurrencia sistemática de incendios forestales y la erosión eólica e hídrica en suelos con períodos prolongados de exposición sin cobertura; así como, las prácticas de manejo empleadas tradicionalmente en las fincas estudiadas, tales como: deforestación, no aplicación de acciones encaminadas a la conservación y mejora de suelos de uso agrícola.

2- Aunque fue imposible analizar la influencia de los grupos morfológicos que constituyen las costras biológicas en algunas propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios, si pudo observarse la presencia de costras biológicas con predominio de musgos y líquenes entre las plantaciones en recuperación afectadas por el fuego.

3- Como posibles causas que conllevan a la presencia de repelencia en suelos de uso agrícola de las fincas bajo estudio se encuentran: ocurrencia de incendios forestales casi anualmente en períodos secos, bajo nivel de conocimiento en el manejo de áreas afectadas por estos; así como, la no existencia de medidas para la prevención de estos incendios, entre las que puede agregarse que no se establecen planes para la reforestación.

4- Se elaboró un programa de acciones como respuesta los problemas identificados en cada finca, el cual contiene: problema a resolver; acciones propuestas y necesidades para su implementación

Recomendaciones

- Establecer investigaciones para analizar la influencia de los grupos morfológicos constituyentes de las costras biológicas en propiedades físicas, químicas y bioquímica de suelos de uso agrícola afectados por incendios.

- Realizar estudios profundos para identificar posibles causas que conllevan a la presencia de repelencia en suelos de uso agrícola de las fincas bajo estudio.

Implementar el programa de acciones elaborado y conformar en cada finca un grupo implementador para dar seguimiento al cumplimiento de estas acciones, así como, monitorear su evolución en el tiempo con los indicadores para evaluar el suelo y los indicadores ambientales antes empleados.

Bibliografía:

- Blake, J. (2002). Water-repellent soils symptom of decline. [En línea]. Ground Cover N° 40. Grains Research and Development Corporation. Australia.
<http://www.grdc.com.au>
- Bisdorn, E.B.A.; L.W. Dekker & J.F.T. Schoute. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*. 5, 105-118.
- Castillo-Monroy, A.P., Maestre, Fernando T. (2011). La costra biológica del suelo- Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica (Tesis Doctoral). Universidad de Argentina.
- Chamizo, S, Rodríguez-Caballero, E, Miralles-Mellad, I, Afana, A, Lázaro, R, Domingo, F, & Calvo-Cases, A. (2010). Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos. Ecología de Montaña*, 165, 69-96. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165004>
- Ceballos, A. (1999). Análisis de la repelencia al agua en una pequeña cuenca hidrográfica afectada por fuego controlado en el área montañosa central de Portugal . Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. 3810-Aveir, 123-143.
- Ceballos, A. (1999). Análisis de la repelencia al agua en una pequeña cuenca hidrográfica afectada por fuego controlado en el área montañosa central de Portugal . Departamento de Geografía, 123-137.
- Ceballos, A. (1999). A Análisis de la repelencia al agua en una pequeña cuenca hidrográfica afectada por fuego controlado en el área montañosa central de

Portugal . Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca. 37071-Salamanca (España) • Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. 3810-Aveiro (Portugal) , 123 a 143.

DeBano, L. (2000). Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology* 231/232, 4-32.

DeBano, L.F., Mann, L.D. y Hamilton, D.D.A. 1970. Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 34: 130-133 pp.

DeBano, L. F. (1976). Water repellent soils: a state-of-the-art. Gen. Tech. Rep. PSW-46, Pacific Southwest Forest and Range. 21.

DeBano, L.F. y Neary, D. (2005). The soil resource: its importance, characteristics, and general responses to fire. En: D. Neary, K.C. Ryan y L.F. DeBano (Eds.). *Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water. General Technical Report 42-4. Rocky Mountain Research Station. United States Department of Agriculture, Forest Service. Ogden, UT.*

Dekker, L. W. (2003). How water moves in a water repellent sandy soil. I. Potential and actual water repellency. *Water Resour.* 4-32.

Doerr, S. H., & Walsh, R. A. (2000). Soil water repellency, its characteristics, causes and hydro-geomorphological consequences. *Earth Sci*, 51, 33-65.

Doerr, S. S. (2006). Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land use types a humid temperate climate . *Soil Science*, 741-756.

Doerr, S., Shakesby, R., & Walsh, R. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics, and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews* , 33-65.

Hawkes, C. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas. Científica y técnica de ecología y medio ambiente*. <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/209.pdf>.

Hernández, A.; Paneque, J.; Pérez, J. M.; Mesa, A.; Bosch, D. y Fuentes, E. (1995). Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Instituto de Suelos y Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes.

Hepper, E.N.; A.M. Urioste; V. Belmonte & E.F.A. Morici. 2010. Hidrofobicidad inducida por fuego e infiltración de agua en un suelo franco arenoso con diferente vegetación dominante. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas.

Jaramillo Jaramillo, D. (2005). Humedad crítica y repelencia al agua en Andisoles bajo cobertura de *Pinus patula*. Facultad Nacional de Agronomía Medellín.

Jaramillo Jaramillo, D. (2011). Repelencia al agua en Andisoles de Antioquía. Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Jaramillo, D. F. (2006). REPELENCIA AL AGUA EN SUELOS: UNA SÍNTESIS. *CIENCIAS DE LA TIERRA*, 215-236.

Jaramillo, D. F. (2006). Repelencia del agua en suelos. colombia: Escuela de geociencias.

- King, P. M. (1981). Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Aust. J. Soil.* , 275 – 285. .
- León, J. D.; W. Osorio.; J. Peláez. y Barreto L. (2008). *Ecología de bosques Andinos: experiencias de investigación*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Liniger H, v. L. (2008). *A Framework for Documentation and Evaluation of Sustainable Land Management*. Technologies.wocat.bern.
- Maestre, F. (2008). Espartales Ibéricos. *Investigación y Ciencia*, 74-83. <http://www.escet.urjc.es/biodiversos/espaa/personal/fernando/papers/lyC2008.pdf>
- Mataix-Solera, J. (2012). Repelencia al agua en suelos forestales afectados por incendios y en suelos agrícolas bajo distintos ,anejos y abandonos. *Cuaderno de investigación geográfica*, 53-74.
- Martínez-Zavala, L., Jordán-López, A. (2009). Influence of different plant species on water repellency in Mediterranean heathland soils. *Catena*, 76, 215–223.
- Moral, G. F. J.; F. López; E. Martínez De S. & A. Marcos. 2003. Influencias hidrológicas y ambientales de la repelencia al agua en los suelos arenosos. [En línea]. Universidad de Extremadura. (s.n.). [Consultada en agosto de 2003]. [http:// www.unizar.es](http://www.unizar.es)
- Moral, F., Giráldez, J., & Laguna, A. (2002). La hidrofobia en los suelos arenosos del parque natural de Doñana: caracterización y distribución. *Ingeniería del Agua*, 37-50.

- Moral García, F.J.; Dekker, L.W.; Oostindie, K.; Ritsema, C.J. (2005). Water repellency under natural conditions in sandy soils of southern Spain. *Australian Journal of Soil Research* 4, 291-296
- Narro, E. (1994). Física de suelos con enfoque agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fan936v/doc/fan936v.pdf>
- Navarro, J. (2007). Variación del Contenido de Materia Orgánica de suelos volcánicos sometidos a distintos manejos agrícolas. (Tesis de Grado). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fan936v/doc/fan936v.pdf>
- Neary, D. C. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* , 51-71.
- Newhall, F. and Berdanier, C. R. (1996). Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Soil Survey Investigations, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE. Report , 4615 p.
- Oyarzún, C. E. (2011). Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas de la Cordillera de la Costa en el sur de Chile con diferente cobertura vegetal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias, Instituto de Geociencias, 10-19.
- PALMAVEN. (1992). Análisis de suelo y su interpretación. Serie Técnica.
- Pennock, D. (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo Resumen Técnico . FAO, 8-32.
- Peñaloza, F. Ä. (2010). Repelencia del agua en suelos mediterraneos. (Tesis Doctoral). Departamento de cristalografía mineralogía y química agrícola.

- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance 32, 5-89.
- Ravelo, F. N. (2013). Composición de las costras microbióticas y su influencia en algunas propiedades del suelo en una zona semiárida. Centro de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano"- Centro de Investigación en Ciencias Naturales "Manuel Ángel González Sponga", 91-115.
- Ritsema, C., & Dekker, L. (2003). How water moves in a water-repellent soil. Water Resources Research , 2519-2531.
- Rivera, L. G. (s.f.). Métodos para medir la humedad en el suelo. http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap02humedadppt.pdf
- Rivera, V. M. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. Ciencias [Revista en línea]. <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no75/CNS07508.pdf>
- Rosentreter R., E. D. (2001). Monitoring and management of biological soil crust. Biological Soil Crusts, 457-468.
- Rodríguez-Alleres, M.; Benito, E. y de Blas, E., (2005). Implicaciones de la repelencia al agua del suelo en la generación de escorrentía y en la erosión en un área quemada del nw de España. estudios de la zona no Saturada del Suelo, VII.
- Ruiz, C. J. A. y Regalado, R. J. R. (2014). Cambio climático y su impacto sobre la producción de alimentos de origen agrícola. Medio Ambiente. Jalisco en el mundo contemporáneo-aportaciones para una enciclopedia de la época. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México, 3,453-467.

- Urquiza. (2011). Manual de procedimientos para manejo sostenible de tierras. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2934/1/manual%20manejo%20sostenible%20de%20tierra.pdf>.
- Toledo, V. (2008). Determinación de Carbono Orgánico en muestras de Suelos por la técnica colorimétrica, en el método de combustión húmeda de Walkley – Black. Línea de Investigación Ambientes Áridos y Semiáridos en Venezuela, UPEL – IPC
- Toledo, V. (2009). Medición de la Humedad del Suelo. http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf
- Toresani. (2009). Indicadores bioógicos físicos y químicos del suelo. Soja, 77-91.
- Wallis, M., & Horne, D. (1992). Soil water repellency. *Advances in Soil Science* , 91-146.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38,55-94.
- Topete Ángel, Jorge Pedro; Ruiz Corral, José Ariel; Ron Parra, José; González Eguiarte, Diego Raymundo; Ramírez Ojeda, Gabriela y Durán Puga, Noé (2014). Utilizando el modelo Newhall para representar el impacto real del cambio climático en la humedad de suelo en Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, ISSN 2007-0934, 10, 2014, 1859-1870
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical*, 38,55-94.
- Vanegas, V. H. A. (2003). Efecto de la temperatura de secado de Andisoles bajo dos coberturas vegetales sobre el grado de hidrofobicidad que desarrollan.

(Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias.) Universidad Nacional de Colombia.

Van't Woudt, B.D. (1959). Particle coatings affecting the wettability of soils. *J. Geophys*, 64, 263-267.

Vera, L., Hernández, A., Mesías, F., Guzmán, A., & Cedeño, A. (2017). Manual para la cartografía de suelos y la descripción de perfiles de suelos. 1ra edición. Humus.

Williams, J. (1994). Microbiotic crusts. A review [Documento en línea]. <http://www.icbemp.gov/science/williams.pdf>

Zheng, Lingjuan, Peer, Thomas. (2017). Disturbance and recovery of Biological Soil Crusts (BSCs) in the high alpine region of the Hochtort (Grossglockner, Austria).

Anexos:

Anexo 1. Cuestionario WOCAT QT

Anexo 2. Procesamiento de la caracterización del régimen hidrológico y disponibilidad ambiental (índice Hidro-Ambiental)

(IDHA) Índice de disponibilidad hidro ambiental	
Años	Indices
2000	36.6
2001	40.1
2002	59.6
2003	48.8
2004	29.6
2005	43.2
2006	36.7
2007	50.3
2008	62.8
2009	51.3
2010	38.3
2011	36.2
2012	29.9

Anexo 3. Datos climáticos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET)

”

Año	Me s	Tm ax me d	Tmi n me d	T me d	Hr med	lluvia mensu al (mm/h)	Horas luz	direcc predomin ante	velocida d media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med
20 00	1	27, 8	14,6	20, 5	76	49,4		3	10,9	97	52

20 00	2	29	15	21, 2	73	8,6	6,4	3	10,2	96	48
20 00	3	30, 8	16,1	22, 9	69	16,4	6,5	3	11,1	95	44
20 00	4	31, 3	18,1	24, 2	70	71,5	7	3	10,9	95	47
20 00	5	32, 8	19,7	25, 8	70	107,5	8,6	5	7,5	94	46
20 00	6	32, 5	22	26	80	289,3	5,7	5	7,7	96	58
20 00	7	33, 3	22	26, 7	78	188,3	8,1	5	4,7	97	56
20 00	8	32, 6	22	26, 3	82	224,9	6,6	3	8,1	97	60
20 00	9	32, 4	22,3	26, 3	87	173,2	5,2	5	4,8	98	67
20 00	10	30, 3	18,9	23, 8	82	118	6,2	3	10,5	97	59
20 00	11	30, 1	17,5	23	77	2	7	3	7,8	97	53
20 00	12	27, 6	18,2	22, 3	84	54,3	3,5	3	9,7	98	64
20 01	1	25, 9	11,8	18, 3	76	12,9	6,8	3	8,1	97	53
20 01	2	30, 8	18	23, 6	75	17,4	8	3	6,5	97	48
20 01	3	30, 6	16,2	22, 8	71	28,1	8,5	9	14,3	96	46
20 01	4	32, 5	18,6	24, 8	71	124,2	8,8	3	7	95	42
20 01	5	30, 9	19,7	24, 6	76	123,4	6,2	3	7,9	95	53

2001	6	33,4	21,4	26,7	78	203	8,5	5	6,5	96	55
2001	7	32,8	21,5	26,6	80	165,3	7,3	5	7	97	58
2001	8	33,7	22,6	27	82	160	7,5	3	4,5	97	59
2001	9	32,2	21,9	26	83	223,5	6,7	3	3,4	98	62
2001	10	30,5	21,9	25,5	84	120,4	6,6	3	8,3	97	67
2001	11	28,6	16,2	21,7	81	157	7,4	5	9,9	98	60
2001	12	28,9	17,5	22,6	83	37,1	6,4	3	5,6	98	63
Año	Me s	Tm ax me d	Tmi n med	T me d	Hr med	lluvia mensu al (mm/h)	Horas luz	direcc predomin ante	velocida d media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med
2002	1	28,7	16,1	21,8	78	6,1	8,2	3	5,7	98	53
2002	2	29,2		22,1	76	71,1	8	3	7,8	97	54
2002	3	31,4		23,9	74	42,6	9,1	5	13,9	97	48
2002	4	32,4	18,5	24,9	69	80,3	9,9	4	11,3	95	44
2002	5	33	20,9	26,3	76	284,2	8,1	5	5,7	96	53
2002	6	31,8	22,1	26,5	82	332,3	6,6	9	12,8	97	63
2002	7	33,5	22,1	27,1	80	394	9,1	3	3,2	97	58

20 02	8	33, 2	21,6	26, 5	83	234,2	8	5	5,3	98	61
20 02	9	31, 6	22,1	26, 3	86	369,4	6,6	5	5,2	98	69
20 02	10	31, 8	21,1	25, 9	84	165,2	8,2	5	11	98	62
20 02	11	30	18,9	23, 7	82	47,8	7,6	3	15,7	98	60
20 02	12	28, 7	17,5	22, 2	82	47	7	5	14,2	97	62
20 03	1	25, 5	12,8	18, 8	78	22,7	6,5	3	14,7	97	56
20 03	2	30, 8	17,2	23, 2	78	18,5	9,4	5	11,7	98	53
20 03	3	31, 5	19,1	24, 7	78	205,8	8,5	9	18,3	97	54
20 03	4	31, 3	17,2	23, 8	72	113,2	9,1	4	16,3	96	48
20 03	5	32, 2	22,1	26, 3	79	225,6	8,4	5	5	96	59
20 03	6	32, 6	22,2	26, 4	81	338,8	7	5	5,6	97	60
20 03	7	33, 1	22,5	26, 8	81	297	8,2	5	7,4	97	60
20 03	8	33, 2	22,9	26, 8	83	163,6	6,9	5	7,7	98	61
20 03	9	32, 8	22,6	26, 4	85	150,1	7,3	5	4,4	98	66
20 03	10	32, 3	21,1	25, 6	84	92,3	8,2	3	7,3	98	63
20 03	11	29, 9	19,3	23, 7	83	19,7	6,8	3	8,6	98	62

2003	12	27,3	15,6	20,8	80	33,2	6,1	4	10,6	97	59
2004	1	28,2	14,1	20,4	76	9,2	7,7	4	8,9	97	51
Año	Me s	Tm ax me d	Tmi n med	T me d	Hr med	lluvia mensu al (mm/h)	Horas luz	direcc predomin ante	velocida d media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med
2004	2	29,9	16,7	22,6	74	71,3		5	11	97	48
2004	3	30,4	16,5	22,7	70	4		4	20,9	96	46
2004	4	32,2	17	23,9	66	45,2		5	12,4	93	43
2004	5	33,5	20,6	26,2	68	51,1		5	12,2	92	46
2004	6	34,3	22,2	26,9	77	141,9		5	7,4	95	53
2004	7	32,9	21,9	26,3	81	223,3		5	6,6	96	61
2004	8	33,2	22,2	26,9	82	286,4		5	4,9	97	61
2004	9	32,6	21,9	26,6	82	121,1		4	9,7	97	62
2004	10	31,7	20	25,1	82	59,5		5	12,6	97	60
2004	11	30,2	17,2	23	78	1,7		5	18,2	97	54
2004	12	28,5	15,4	21,2	76	2,1		5	16,2	96	53
2005	1	28,4	13,7	20,4	73	0,2		5	17,1	96	49

20		29,		21,								
05	2	3	13,5	1	68	9			5	13,1	96	43
20		31,		23,								
05	3	2	16,5	5	70	29,1			9	25,6	95	45
20		32,		24,								
05	4	5	17,6	5	63	34,7			5	14,1	90	40
20		33,		26,								
05	5	9	21,1	5	69	24,5			5	14,8	93	46
20		32,		26,								
05	6	5	23,3	8	81	298,5			5	8,2	96	58
20		33,		27,								
05	7	7	23,3	5	79	398,2	7,2		5	13,4	94	55
20		33,		27,								
05	8	6	22,9	3	82	203,8			5	9	96	56
20				26,								
05	9	33	22,2	8	82	195			5	8,5	96	57
20		30,		25,								
05	10	2	21,5	2	85	269,4			3	17,1	96	67
20		29,		23,								
05	11	3	18,9	5	82	7			4	13,3	96	57
20		28,		21,								
05	12	6	16,2	6	79	26,9			5	12,9	96	49
20		28,		20,								
06	1	1	15,2	8	79	65,2			5	17	96	49
20		28,		20,								
06	2	2	14,5	6	76	22,9			5	16,1	96	46
		Tm		T		lluvia				velocida		
Añ	Me	ax	Tmi	me	Hr	mensu		direcc		d media	Hrm	Hrmi
o	s	med	n	d	med	al	Horas	predomin		en la dir	ax	n
		d	med	d		(mm/h)	luz	ante		pred	med	med
										km/h		
20		30,		22,								
06	3	6	15,3	1	67	8,5			4	11,7	93	34

20 06	4	32, 8	17,8	24, 6	66	40,9			3	19,6	92	34
20 06	5	33, 2	19,6	25, 7	71	144,4			3	15,3	93	41
20 06	6	32, 2	22,2	26, 6	80	121,8			5	10,1	95	57
20 06	7	33, 2	22,3	26, 5	83	196,1			5	11,7	96	58
20 06	8	33, 6	22,5	26, 9	82	153,1			5	11,2	96	59
20 06	9	33, 3	22,4	26, 6	83	396,2			5	7,5	96	56
20 06	10	32, 1	21,5	25, 9	82	10,6			3	15,2	96	57
20 06	11	29, 8	17,7	22, 9	79	2,9			4	15,1	95	52
20 06	12	29, 7	20	24	81	99,7			4	14	95	57
20 07	1	29, 9	17,9	23, 1	77	5,3			4	11,4	96	48
20 07	2	29, 9	17,2	22, 6	75	36,6			5	9,7	94	46
20 07	3	30, 9	17,4	23, 5	69	2,2			3	13,6	93	40
20 07	4	32, 1	18	24, 5	67	60,2			4	11,7	92	38
20 07	5	32, 3	20,5	25, 3	75	182,3			5	10,7	94	47
20 07	6	32, 1	22,6	26, 3	82	347,8			4	7,1	95	60
20 07	7	33, 9	22,6	27, 2	79	330,3			5	5,3	95	53

20		33,										
07	8	2	22,7	27	82	164			5	6,5	94	58
20		32,		26,								
07	9	7	22,1	1	84	252			4	6,2	96	58
20		30,		25,								
07	10	9	22,7	8	87	354,1			5	7,5	97	66
20		29,		22,								
07	11	4	17,7	6	79	0,5			4	11,1	96	50
20		29,		22,								
07	12	4	17,6	7	78	11			4	11	96	49
20		28,		21,								
08	1	6	16,4	6	75	14			4	10,3	94	45
20		30,		23,								
08	2	5	17,9	3	74	42,1			3	9	95	43
20				23,								
08	3	31	18,2	8	72	18,1			4	12,1	94	43
		Tm		T		lluvia				velocida		
Añ	Me	ax	Tmi	me	Hr	mensu	Horas	direcc		en la dir	Hrm	Hrmi
o	s	med	n	d	med	al	luz	predomin		pred	ax	n
		d	med	d		(mm/h)		ante		km/h	med	med
20		32,		24,								
08	4	1	18,4	2	69	37,3			4	9,8	92	38
20		33,		26,								
08	5	7	21,2	7	70	77,2			4	9,3	91	40
20		33,		26,								
08	6	3	22,7	9	77	318,7			5	10,1	94	50
20		33,		26,								
08	7	8	22,2	9	77	164,2			5	9,4	94	46
20		33,		26,								
08	8	1	22,5	9	79	323,9			5	9,8	95	54
20												
08	9					399,3			3	8,4		

2010	2	26,2	13,9	20	75	137,8			1	9,8	94	46
2010	3	28	14	20,7	69	15,9			1	7,9	93	38
2010	4	31,2	18,4	24,4	69	49,9			3	9,9	92	40
Año	Me s	Tm ax med	Tmi n med	T me d	Hr med	lluvia mensu al (mm/h)	Horas luz	direcc predomin ante	velocida d media en la dir pred km/h	Hrm ax med	Hrmi n med	
2010	5	33,2	21,9	26,8	74	167,8			5	7,8	95	44
2010	6	34,7	23,7	28,4	74	52			5	4,8	93	45
2010	7	32,9	23,2	27,1	82	178,9			5	4,1	96	57
2010	8	32,9	23,2	27,1	83	290,9			5	3,6	96	60
2010	9	32,3	22,9	26,6	84	202,1			5	4,7	97	60
2010	10	30,9	20,9	25,1	82	64,1			3	3,9	97	56
2010	11	28	17,4	22,1	80	68,9			3	4,8	96	55
2010	12	24	10,9	17,2	78	41,6			4	5	96	49
2011	1	27,2	15,1	20,7	78	60			4	6,5	95	50
2011	2	29,4	16,1	22,1	72	0,2			5	5,5	95	40
2011	3	30	15,7	22,4	69	97,4			5	7,2	94	35

20		33,		25,								
11	4	5	19,2	7	68	32,8			5	5,6	94	34
20		33,		25,								
11	5	3	19,7	7	71	137,9			3	7,1	94	38
20		32,		26,								
11	6	3	22,4	6	80	306,8			4	5,8	95	56
20		33,		27,								
11	7	2	22,6	1	80	170,1			5	4,3	96	53
20		33,		27,								
11	8	9	22,8	3	80	184,9			5	2,4	96	51
20		32,		26,								
11	9	7	22,2	4	83	110,1			3	3,2	96	57
20		30,		25,								
11	10	3	21,9	2	85	180,8			3	4,3	97	63
20		28,										
11	11	9	18,1	23	81	1,7			3	5,5	97	55
20		27,		22,								
11	12	8	17,3	1	81	1,9			5	8,1	96	55
20												
12	1	28	15,4	21	74	2,2			5	6,3	94	43
20		29,										
12	2	8	17,5	23	74	22,8			5	7,6	94	44
20				23,								
12	3	31	18	8	70	61,2			5	8,7	94	37
20		31,		24,								
12	4	2	18,6	5	69	104			5	7,8	92	39
20		31,		25,								
12	5	1	21,6	7	79	402,7			5	4,1	94	54

Anexo 4. Herramienta Metodológica agregación / dispersión (Manual para la implementación del Manejo Sostenible de Tierras, Urquiza et al., 2011)

Finca	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm-3)	Porosidad total (%)
1	0-29	26,0	32,5	41,5	17,8	0,53	80,3
	29-65	0	0	0	0	0,76	71,8
2	0-29	8,6	27,4	64,0	22,1	0,64	75,8
	29-65	0	0	0	0	0,55	79,5
	65-81	0	0	0	0	0,69	74,3

Anexo 5. Análisis agroquímicos efectuados por el Servicio Agroquímico del Ministerio de la Agricultura.

Anexo 6. Información derivada del Registro de la tierra

Anexo 7. Entrevista a los decisores internos a las unidades agrícolas y a personas del exterior a estas, con estrecho vínculo

No	Interrogantes	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	¿Dónde se observa la ocurrencia del proceso de repelencia en su finca	a) Superficie afectada por incendios recientes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		b) Superficie dónde no han ocurrido incendios nunca	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	¿Cuáles son las características/ elementos principales a tomar en consideración para determinar la repelencia al agua:	a) Observar el color del suelo	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		b) Acumulación de ciertos compuestos orgánicos en la capa superficial del suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
		c) Presencia de hidrocarburos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

	os alifáticos que son apolares															
	d) Al observar los suelos de su finca, se cumple que los de alto contenido de materia orgánica muestran más afectaciones causadas por altos niveles de repelencia al agua.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	e) Los suelos clasificados como arenosos, presentan niveles de repelencia más altos, que los suelos que	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

		tienen una composición importante de fracciones finas como las arcillas.															
3	¿Conoce Ud., los problemas/ síntomas de degradación que pueden observarse en su finca como consecuencias de la repelencia.		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	¿Conoce Ud., qué actividades/insumos principales se requieren para establecer/ mantener los suelos de su finca afectados por el proceso de repelencia?		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	¿Conoce Ud., cuáles son los impactos de los procesos de repelencia a nivel de finca?		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Anexo 8. Indicadores y formas de medida de la repelencia del suelo al agua (hidrofobia

Anexo 8. Indicadores y criterios de medida cualitativo y cuantitativos de la repelencia al agua

Finca 1

INDICADORES	CRITERIOS	PARAMETROS		CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
		B (1)	M (2)		
INDICADORES PARA EVALUAR EL SUELO (continuación)					
2.Humedad del suelo	2.1. Contenido de materia orgánica del suelo	Alto: > 3.0%			
		Medio: entre 1.5-3.0%		X	
		Bajo: < 1.5 %			
	2.2. Disposición de los agregados del suelo	X		1	
	2.3. Cantidad y distribución de las precipitaciones anualmente	Alto: > 200 mm			
		Medio: 100-200 mm		X	
		Bajo: < 100 mm			
	2.4. Homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	3: significa que la sección control de humedad (SCH) se encuentra húmeda por completo (presencia de humedad a una tensión menor que 1500 kPa).			
		2: se empieza a secar alguna parte de esta sección.		2	
		1: se asume que se encuentra seca en su totalidad			

	(presencia de humedad a 1500 kPa)		
2.5. Presencia de horizontes con compactación o pie de aradura	X	1	No se observó PIE de ARADURA
2.6. Eficiencia del uso de la lluvia	X	2	No se emplean de medidas de conservación o cosecha del agua de lluvia.

INDICADORES	CRITERIOS	PARAMETROS		CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
		B (1)	M (2)		
INDICADORES AMBIENTALES					
3.Cambios en el ecosistema	3.1. Variabilidad anual de la temperatura ambiente, precipitaciones, radiación solar e Intensidad y velocidad del viento.	X		1	
	3.2. Comportamiento de la biodiversidad del suelo	X		1	
4.Ocurrencia de incendios forestales	4.1. Área afectada		X	2	
	4.2. Duración	X		1	
	4.3. Especies vegetales afectadas		X	2	

	4.4. Aplicación de medidas preventivas contra incendios		X	3	
5- Presencia de costras biológicas	5.1. Por ciento de cobertura de CBS	X		1	Predominio de musgos y líquenes (en los 0-5 cm de profundidad)
6-Recursos forestales	6.1. Cantidad de superficie cubierta por especies forestales	X		1	
	6.2. Reducción de masa forestal/ eliminación de árboles dominantes	X		1	
	6.3. Presencia de diversidad de especies		X	2	
	6.4. Presencia de especies no deseables (pequeñas leñosas y espinosas, otras)		X	2	
	6.5. Implementación de vegetación natural		X	2	
	6.6. Actividades de reforestación		X	2	

Finca 2

1.9. Prácticas de manejo de suelos para incrementar el Carbono orgánico (COS) y el Nitrógeno Total (NT)		X	2	Existe desconocimiento acerca de qué prácticas se deben realizar al respecto.
---	--	---	---	---

INDICADORES	CRITERIOS	PARAMETROS		CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN	
		B (1)	M (2)			
INDICADORES PARA EVALUAR EL SUELO (continuación)						
2.Humedad del suelo	2.1. Contenido de materia orgánica del suelo	Alto: > 3.0%				
		Medio: entre 1.5-3.0%				
		Bajo: < 1.5 %	X			
	2.2. Disposición de los agregados del suelo	X		1		
	2.3. Cantidad y distribución de las precipitaciones anualmente	Alto: > 200 mm				
		Medio: 100-200 mm		X		
Bajo: < 100 mm						

2.4. Homogeneidad de la distribución del agua a diferentes profundidades en las capas u horizontes superficiales del perfil del suelo	3: significa que la sección control de humedad (SCH) se encuentra húmeda por completo (presencia de humedad a una tensión menor que 1500 kPa).			
	2: se empieza a secar alguna parte de esta sección.	2		
	1: se asume que se encuentra seca en su totalidad (presencia de humedad a 1500 kPa)			
2.5. Presencia de horizontes con compactación o pie de aradura		X	2	Se observó PIE de ARADURA en más del 50 % de los campos
2.6. Eficiencia del uso de la lluvia		X	2	No se emplean de medidas de conservación o cosecha del agua de lluvia.

INDICADORES	CRITERIOS	PARAMETROS		CALIFICACIÓN	OBSERVACIÓN
		B (1)	M (2)		
INDICADORES AMBIENTALES					
3.Cambios en el ecosistema	3.1. Variabilidad anual de la temperatura ambiente, precipitaciones, radiación solar e Intensidad y velocidad del viento.	X		1	
	3.2. Comportamiento de la biodiversidad del suelo		X	2	
4.Ocurrencia de incendios forestales	4.1. Área afectada		X	2	
	4.2. Duración	X		1	
	4.3. Especies vegetales afectadas		X	2	
	4.4. Aplicación de medidas preventivas contra incendios		X	2	
5- Presencia de costras biológicas	5.1. Por ciento de cobertura de CBS	X		1	Predominio de musgos y líquenes (en los 0-5 cm de profundidad)
6-Recursos forestales	6.1. Cantidad de superficie cubierta por especies forestales				NE
	6.2. Reducción de masa forestal/ eliminación de árboles dominantes				NE
	6.3. Presencia de diversidad de especies				NE

6.4. Presencia de especies no deseables (pequeñas leñosas y espinosas, otras)				NE
6.5. Implementación de vegetación natural				NE
6.6. Actividades de reforestación				NE

