

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agronomía



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**

**Efecto de la adición de tres especies de abonos verdes sobre las
propiedades agroproductivas de un suelo pardo agrogénico**

Tesis para aspirar al Título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Iván Dueñas Garrido

Tutor: MsC. Yoandris Socarrás Armenteros

Cienfuegos, 2020

PENSAMIENTO

La agricultura es la profesión propia del sabio, la más adecuada al sencillo y la ocupación más digna para todo hombre libre.

Cicerón

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A mi familia que siempre me han apoyado.*
- ❖ *A todas mis amistades que me han ayudado cuando los he necesitado.*
- ❖ *A mis compañeros de estudio, a los cuales he molestado bastante, en especial a Robin David González.*
- ❖ *A mis profesores por los conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera, en especial a mi tutor.*

DEDICATORIA

A mi familia y amigos, en especial a mis padres.

RESUMEN

Los abonos verdes son plantas que se cultivan para ser incorporadas al suelo y suministrar nutrientes y es por esto que constituyen una alternativa natural y económica frente a los fertilizantes minerales. Con el objetivo de evaluar la influencia de los mismos, se llevó a cabo un experimento sobre un suelo Pardo Agrogénico en el cual se evaluó la adición de tres especies de abonos verdes sobre las propiedades agroproductivas en el cultivo del maíz. Los resultados mostraron evidentes efectos positivos de este tipo de plantas desarrolladas en verano-invierno, las que incorporan altos volúmenes de biomasa y nutrientes, lo que se refleja en un incremento de los rendimientos del maíz, encontrándose la influencia más marcada con la incorporación de *Crotalaria juncea*. En las condiciones estudiadas, los abonos verdes pueden ser una alternativa para la sustitución de fertilizantes químicos nitrogenados necesarios al cultivo del maíz (40-80 kg/ha de N) y permiten incrementar los rendimientos del cultivo (1-2.4 t.ha⁻¹), así como obtener ganancias económicas.

Palabras clave: abonos verdes, maíz, rendimientos, nitrógeno

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural difícil de renovar, con naturaleza viva y dinámica, cuya conservación es fundamental para la supervivencia de la humanidad (Marrero ,2015). Respecto a su constitución general puede decirse que su proporción ideal oscila entre 45 - 48% de partículas minerales, 5 - 2% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire (Sánchez, 2007).

La contaminación ambiental, la desertificación, la pérdida de biodiversidad y los cambios climáticos permanecen como evidencias de que el hombre no ha sido conocedor de su propia naturaleza y se requiere de cambios a corto, mediano y largo plazo (Altieri, 2009). Para el año 2050 la población mundial incrementará en 9,100 millones de personas, este aumento poblacional requerirá que los suelos deben ser más productivos, por lo tanto, exigirá la producción de más alimentos, energía y agua potable (Organización para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017). Estos desafíos implican una serie de situaciones y, exigirá del productor el máximo uso de conocimiento y tecnología amigable con el medio ambiente.

En los dos últimos siglos, por la explosión demográfica y los avances científicos y tecnológicos aplicados sin una conciencia conservacionista, entre otros factores, el hombre ha venido ejerciendo una creciente presión sobre la naturaleza, provocando el deterioro de amplias superficies de terreno (Becerra, 1998). El suelo constituye un recurso escaso, que continuamente produce, y por tanto es necesaria la recuperación de su fertilidad y capacidad productiva (Gaitan y Lacki 1993).

En Cuba uno de los problemas más graves que enfrenta la agricultura es el referente a la degradación de los suelos y no prestarle la debida atención a los procesos que la ocasionan, los cuales comprometen seriamente el futuro del país (Instituto de Suelo[IS], 2017).

Diferentes personalidades de las Ciencias Agrarias de diferentes lugares del planeta tierra considera la combinación armónica y racional de las sustancias orgánicas y fertilizantes

químicos (Altieri, 1994; Gomero y Vázquez, 2004; Reyes, 2007). También recomiendan el uso de las alternativas orgánicas, como el uso de los abonos verdes ya que pueden contener nutrientes primarios como el nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros, así como influir positivamente en el pH del suelo.

Los abonos verdes constituyen una alternativa nutricional a los cultivos, al ser incorporados o dejados sobre el suelo, mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, pudiendo repercutir positivamente en los rendimientos agrícolas, así como brindar otros beneficios (Monedero, 2002).

Debido a los problemas ecológicos y económicos creados por el uso indiscriminado de los abonos químicos y otras prácticas de agricultura intensiva, se ha recobrado el interés en retomar el uso y estudio de los abonos verdes, tanto en Cuba como a nivel mundial. Entre los cultivos que se pueden beneficiar con esta práctica agrícola tenemos al maíz (*Zea mays* L.), el cual posee altos requerimientos nutricionales, fundamentalmente de nitrógeno, los cuales podrían ser satisfechos con el empleo de abonos verdes (Álvarez, 2000).

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cuál será el efecto de diferentes especies de abonos verdes sobre la respuesta agroproductiva del suelo Pardo agrogénico en las características morfofisiológica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)?

HIPÓTESIS

La adición de la especie de *Crotalaria juncea* en el suelo agrogénico aumenta la respuesta agroproductiva cuando se compara con la incorporación de los otros abonos verdes usados en un suelo Pardo. También favorece de manera más notable, los componentes morfofisiológicos del cultivo de Maíz.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de tres especies de abonos verdes sobre las propiedades agroproductivas de un suelo pardo agrogénico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la degradación de las propiedades químicas en suelos Pardos, en relación con el cultivo continuado.
- Determinar en condiciones semicontroladas el efecto de la adición de los abonos verdes sobre las variables morfofisiológicas del cultivo de maíz.

ÍNDICE

Contenido

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Principios y conceptos básicos	2
1.1.1. Degradación del suelo	2
1.1.2. Suelos en los ecosistemas	2
1.1.3. Concepto de la energía del suelo	3
1.1.4. Estabilidad del suelo	4
1.1.5. Resiliencia del suelo	5
1.1.6. Calidad de suelo	5
1.1.7. Restauración del suelo	6
1.2. Proceso de degradación del suelo.....	7
1.2.1. Erosión del suelo	7
1.2.2. Erosión eólica	8
1.2.3. Erosión hídrica	8
1.3. Degradación física del suelo.....	9
1.3.1. Compactación del suelo.....	9
1.3.2. Sellado y encostramientos.....	10
1.3.3. Exceso de humedad y anaerobiosis	11
1.4. Degradación química	12
1.4.1. Proceso químico básico en el suelo.....	13
1.4.2. Principales procesos de degradación química.....	13
1.5. Prevención y restauración de suelos afectados por degradación.....	16
1.5.1. Prevención de la degradación.....	16
1.5.2. Principios para la remediación de la degradación química	16
1.6. Abonos verdes.....	17

1.6.1. Concepto de Abonos verdes.....	17
1.6.2. Importancia de los abonos verdes	17
1.6.3. Abonos verdes más utilizados en el mundo y Cuba	18
1.6.4. Principales aporte a la respuesta agroproductiva de los suelos	19
1.6.5. Efectos abonos verdes a las propiedades químicas de los suelos	20
1.6.6. Efectos de los abonos verdes sobre los rendimientos de los cultivos.....	20
1.6.7. Características Botánicas de las especies Crotalaria júncea, Canavalia ensiformis, Sorghum vulgare.....	21
1.6.8. Efecto de la Crotalaria sobre la respuesta agroproductivas de los suelos	24
1.6.9. Efecto de la Canavalia sobre la respuesta agroproductivas de los suelos	24
1.6.10. Efecto del Sorgo sobre la respuesta agroproductivas de los suelos.....	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1. Diagnóstico de la degradación de las propiedades químicas en suelos pardos en relación con el cultivo continuado en el agroecosistema en estudio.....	27
2.2. Determinación en condiciones semicontroladas el efecto de la adición de los abonos verdes sobre las variables morfofisiológicos del cultivo de maíz.	28
3. Resultado y discusión	30
3.1. Diagnóstico de la degradación de las propiedades químicas en un suelo Pardo Agrogénicos, en relación con el cultivo continuado.	31
3.1.1. Caracterizaciones morfológicas del suelo de cultivo continuado.	31
3.1.2. Características de las propiedades químicas del suelo de cultivo continuado.....	33
3.2. Efecto de la adición de los abonos verdes sobre las variables morfofisiológicos del cultivo de maíz.	36
Conclusiones.	¡Error! Marcador no definido.
Recomendaciones	40
Bibliografía	41

Capítulo 1

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Principios y conceptos básicos

1.1.1. Degradación del suelo

La degradación de los suelos, entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1989), está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos, pero sobre todo con la deforestación, el establecimiento de sistemas agrarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente (FAO, 2010).

La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, entre otros. Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en lo que se conoce por Conservación de Suelos (Espinosa et al. 2011).

La modificación del ambiente, a través de la degradación de la tierra, es un proceso perjudicial que afecta negativamente el desarrollo de la población. Una de las consecuencias se da en el rendimiento de los cultivos, que va disminuyendo a medida que avanza la degradación. Con el tiempo, cambia también el uso que se da a esa tierra: de ser cultivable se convierte en área de pastoreo; luego, se cubre de maleza y, finalmente, se torna árida (Encina, Arnulfo e Ibarra, 2002).

1.1.2. Suelos en los ecosistemas

El suelo está formado a partir de los horizontes superficiales o externos de las rocas, que fueron modificados de manera natural mediante la acción conjunta del agua, el aire y las distintas clases de organismos vivos y muertos (Dokuchaev, 1899).

El suelo juega un importantísimo papel en la sostenibilidad de los ecosistemas tanto naturales como agrarios en los que constituye un reservorio temporal en del ciclo del agua

a la que filtra y depura en su recorrido hacia los acuíferos. Además, sirve de soporte a todos los seres vivos del ecosistema, vegetales y animales, a los que suministra el agua y los nutrientes que necesitan para el desarrollo completo de su ciclo vital (Peter Laban et al. 2016).

Todas estas funciones del suelo dependen en gran medida del contenido en materia orgánica cuyo componente principal es el Carbono Orgánico (CO). En los ecosistemas naturales, mientras no varíen las condiciones ambientales, permanece constante el contenido en CO del suelo. En los ecosistemas naturales en equilibrio cada año se genera a partir de los restos orgánicos incorporados al suelo, la misma cantidad de humus que se mineraliza por la acción de los microorganismos (FAO, 2015).

1.1.3. Concepto de la energía del suelo

Para un claro entendimiento de los procesos que ocurren en el suelo tal como lo es la degradación debe tenerse como base el concepto de energía de los sistemas del suelo. Con esta base el suelo puede ser descrito como un almacén de energía en la interface entre atmósfera, geósfera, hidrósfera y biósfera, considerando tres formas de energía que provienen de tres diferentes fuentes (Blum, 1998):

1. Fuerza gravitacional: es un importante factor para todos los procesos que ocurren en el suelo, pues controla en gran medida la energía para el movimiento de sólidos, líquidos y gases: dentro del suelo, desde el suelo hasta otros medios adyacentes y viceversa.
2. Energía conservada en la roca madre del suelo, especialmente en las muchas y diferentes formas de minerales (v.g. micas, feldspatos, piroxenos, cuarzo entre otros) y las fuerzas de unión entre ellos (textura y estructura de las rocas) las cuales se han originado a través de orogénesis bajo considerables niveles de energía (presión y temperatura), presentes en la composición química y estructura cristalina de minerales y rocas.

3. Energía solar, aparte de ser proveedora de los compuestos orgánicos del suelo es sustento de todas las formas de vida que en él se desarrollan.

Los suelos son medios únicos en la geobiosfera, ya que sólo ellos por definición contienen energía orgánica heredada y también energía solar renovable, en contraste con la biosfera la cual sólo se basa en la fuente renovable de energía solar, o la geosfera basada en energía geogénica. Esta es una de las principales razones por las cuales diferentes suelos muestran muy diferentes niveles de resistencia contra las fuerzas externas que causan degradación (Alfonso y Monedero, 2004).

1.1.4. Estabilidad del suelo

Existen varios criterios para definir la estabilidad del suelo (Lal, 1998):

Susceptibilidad a cambiar: la estabilidad del suelo se refiere a la magnitud del cambio en sus propiedades bajo perturbación natural o inducida por el hombre.

Equilibrio dinámico: las propiedades del suelo están siempre cambiando y la magnitud del cambio en una propiedad que depende de la fuerza relativa de los procesos restaurativos y degradantes. Un suelo será estable si los procesos restaurativos son más fuertes que los procesos degradantes. Manejo: la estabilidad del suelo es independiente del manejo, y es gobernada por propiedades inherentes del suelo. Bajo estos criterios, no todos los suelos estables son productivos o útiles para la agricultura.

La relación entre estabilidad y degradación del suelo es compleja. Algunos suelos estables son indudablemente menos propensos a la degradación y pueden ser suelos agrícolas Clase I, pero otros han alcanzado el nivel de estabilidad al cual sus propiedades ya no pueden ser manipuladas para producir bienes económicos y servicios y no tienen uso agrícola (Bernal y Hernández, 2017).

Los suelos agrícolas estables son dinámicos y siempre cambiantes en respuesta al clima y al manejo, tienen la habilidad de recuperarse y restaurarse y son resilientes a la perturbación (Belisario y Amezcuita, 2009).

1.1.5. Resiliencia del suelo

La resiliencia del suelo implica su habilidad para recuperarse después de una perturbación. Por lo tanto, un suelo resiliente no es necesariamente un suelo estable. Un suelo resiliente es aquel que cambia, pero se recupera, y un suelo estable puede no cambiar en absoluto. La resiliencia del suelo es gobernada por la fortaleza de los procesos restaurativos inherentes a las propiedades del suelo y al manejo (Lal, 1998).

La definición de resiliencia no es más que la habilidad de un sistema disturbado de retornar, después de nuevas perturbaciones, a un nuevo equilibrio dinámico". En este contexto el término "resiliencia" es mucho más aceptado por un amplio público en el sentido de protección del suelo y uso sostenible de la tierra (Hernández y Pastor, 2000). En casos de presentarse formas de degradación irreversibles tales como intensa contaminación por compuestos orgánicos e inorgánicos, severa salinización y alcalinización o severa erosión; por definición en esos casos la resiliencia no es posible, ya que ella depende de una dada flexibilidad del sistema (Génova, 2003).

Un suelo resiliente restaura sus propiedades para el sostenimiento de su función y uso o aprovechamiento. No tiene resistencia al cambio; pero responde y se recupera. Es energético, siempre sujeto al cambio y en equilibrio dinámico. El estado recuperado no necesariamente se equipara al estado inicial previo al cambio; la resiliencia del suelo puede seguir una trayectoria caracterizada por la histéresis. La estabilidad del suelo no es necesariamente un sinónimo de la resiliencia del suelo (Urcelai, 2002).

1.1.6. Calidad de suelo

Entre las muchas definiciones que presenta la literatura especializada con relación al término calidad del suelo, Parr *et al.* (1992) la presentan como la capacidad del suelo para funcionar de acuerdo a las demandas de uso, tal como la producción de biomasa, manteniendo su capacidad de resistir a la degradación y de minimizar los impactos

ambientales; lo cual abarca no solamente la productividad del suelo sino también calidad ambiental, seguridad alimentaria, salud animal y humana, degradación de contaminantes y uso de la tierra.

El suelo es un componente fundamental de la biosfera ya que es la interfase entre la tierra, el aire y el agua. Es un recurso no renovable, a escala de tiempo humana, que desempeña diversas funciones importantes para la vida. Karlen et al. (1997) destacan las siguientes:

1. Sostiene el crecimiento y diversidad de plantas y animales aportando el medio físico, químico y biológico para los intercambios de agua, aire, nutrientes y energía.
2. Regula la distribución del agua entre la infiltración y escorrentía y regula el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes y compuestos disueltos en el agua.
3. Almacena y modera la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y otros elementos.
4. Actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos.
5. Es el apoyo de estructuras y alberga riquezas arqueológicas asociados a la vivienda humana.
6. Filtra, amortigua, degrada, inmoviliza y detoxifica sustancias orgánicas e inorgánicas.

En este contexto, la calidad se presenta como la herramienta ideal para identificar o conocer en el estado de degradación del suelo, así como que medidas son necesarias para un mejor funcionamiento, ya que proporciona información sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

1.1.7. Restauración del suelo

Restauración del suelo es el reverso de la degradación del suelo, y los suelos degradados pueden restaurarse por sí mismos una vez que los factores causantes de la degradación son eliminados. Es importante tener en cuenta que hay límites críticos de algunas

propiedades clave del suelo para revertir los procesos de degradación y restaurar el suelo a su estado original o de calidad deseable (Mongil y Martínez, 2008).

Propiedades clave del suelo, cuyos valores críticos gobiernan su restauración son: estructura, contenido de carbono orgánico, arcilla y minerales de arcilla, porosidad total y de aireación, capacidad de almacenamiento de agua disponible, capacidad de intercambio catiónico, profundidad efectiva para el desarrollo de raíces y reserva de nutrientes. Estos límites deben ser determinados y evaluados con relación a las propiedades del suelo, uso de la tierra y cultivos desarrollados. (Seignobos, 1998).

1.2. Proceso de degradación del suelo

1.2.1. Erosión del suelo

La erosión es el proceso de desprendimiento y arrastre del suelo y/o fragmentos de roca por acción del agua, el viento, el hielo o la gravedad (Seignobos, 1998)..

En su sentido más amplio, la erosión es un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre, desde antes de que las civilizaciones humanas iniciasen su actividad. De acuerdo a si existe o no la influencia de la acción del hombre, en el desarrollo de los procesos erosivos, pueden distinguirse dos clases generales de erosión: la geológica o natural y la acelerada o antrópica (Díaz, 2011).

La erosión geológica es un proceso lento e imperceptible, es el desgaste natural de la superficie terrestre sin la intervención del hombre. La erosión natural contribuye a la formación del relieve, a los procesos de meteorización de las rocas y a la formación de los suelos (González et al. 2007).

Erosión antrópica o acelerada es la erosión inducida por la actuación del hombre que interfiere y rompe el equilibrio existente entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento, lo cual da lugar a formaciones terrestres erosivas y otras condiciones anormales.

Considerándolo como proceso de degradación el término erosión hace referencia a la erosión acelerada (González et al. 2007).

1.2.2. Erosión eólica

El proceso de la erosión eólica puede representarse como un ciclo que involucra al conjunto de los procesos de estabilización, inestabilización y erosión ocasionada por el viento, con la inclusión de las condiciones que resultan de dichos procesos (García, 1967).

Donde quiera que el suelo sea débilmente agregado, seco, la superficie lisa y desnuda y los vientos sean fuertes, habrá propensión a la erosión eólica. De hecho, las zonas más severamente afectadas por este proceso de degradación son aquellas de climas áridos y semiáridos. Sin embargo, la erosión eólica es también severa en algunas regiones húmedas, donde los vientos fuertes pueden desarrollarse moviendo dunas en las zonas costeras. Histosoles drenados y desnudos también han sido reportados como propensos a la erosión eólica (Donahue *et al.*, 1983).

Asociados al ciclo de la erosión eólica se presentan los procesos de formación y remoción del suelo. Cuando se trata de controlar la erosión, los esfuerzos deben ser orientados en el sentido de modificar los procesos que afectan a la remoción del suelo para que la intensidad de las pérdidas que lo afectan no exceda la tasa de su formación (López et al. 2016).

Los agregados, terrones y partículas mayores de 1 mm de diámetro, resultan demasiado grandes para ser movidos por el viento, aún por arrastre superficial. Ellos usualmente permanecen sobre la superficie erosionada formando lo que se conoce como pavimento de desierto que protege el suelo contra nuevos ataques de erosión (De Oro, 2011).

1.2.3. Erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso continuo que consiste en la separación de las partículas y agregados de la masa del suelo, su transporte y sedimentación, siendo el agente activo el agua. La erosión hídrica se inicia cuando las gotas de lluvia golpean terrones y

agregados en la superficie de un suelo desnudo, causando el movimiento de las partículas más finas como sedimento en suspensión en el flujo del agua, el cual en su movimiento cuesta abajo, va abriendo surcos a lo largo de la vía (Gaitán et al. 2017).

La denudación del suelo, condición que propicia el desarrollo de los procesos de erosión, ocurre al remover la cobertura vegetal protectora por el laboreo del suelo para el cultivo, la quema de residuos de cosecha, el sobrepastoreo, la deforestación excesiva, y por la perturbación drástica del suelo por el uso de maquinaria pesada en la construcción de vías, obras de infraestructura y minería en superficie y en labores agrícolas y forestales. La perturbación del suelo es particularmente desastrosa, a los efectos de la erosión, en áreas donde las condiciones climáticas dificultan el reestablecimiento de la vegetación protectora (Donahue et al., 1983).

Teniendo como base, la clasificación actual que considera el proceso de erosión hídrica dividido en erosión entre surcos, erosión en surcos y erosión en cárcavas (Sharma, 1996; Grissinger, 1996), Camargo et al. (2017) proponen la denominación de erosión en canales para incluir la erosión en surcos y en cárcavas, de tal manera que el proceso de erosión quedaría dividido en dos tipos: erosión entre surcos y erosión en canales.

1.3. Degradación física del suelo.

La degradación física se refiere a todos aquellos procesos que resultan en cambios adversos que puedan afectar las condiciones y propiedades físicas de los suelos. Casi todos los procesos causantes de degradación física están muy relacionados entre sí y conllevan a una reducción de la porosidad, y en consecuencia a un deterioro de las relaciones aire-agua en el suelo. (Espinosa et al. 2011).

1.3.1. Compactación del suelo

La compactación del suelo puede ser definida como la compresión de una masa de suelo a un volumen más pequeño. En este proceso, cambios en las propiedades de la densidad son acompañados por cambios en las propiedades estructurales, en la conductividad térmica e hidráulica y en las características de la transferencia de gases en el suelo. Estos

a su vez afectan balances químicos y biológicos. En pocas palabras, el ambiente del suelo es alterado de tal manera que todos los procesos del suelo son afectados en mayor o menor extensión, dependiendo del grado de compactación (Raghavan et al. 1990).

Podemos decir que la estructura de suelo ideal se compone de un 50% del suelo, 25% de espacio de agua y 25% del espacio con aire. La compactación del suelo modifica estas proporciones produciendo un aumento en su densidad (densidad aparente), aumentando su resistencia mecánica, destruyendo y debilitando su estructuración. Todo esto hace disminuir la porosidad total y la macroporosidad (porosidad de aireación) del suelo (Alfonso y Monedero, 2004).

La compactación del suelo es un fenómeno difícil de corregir y de un elevado costo. Por lo tanto, hay que tomar las medidas necesarias para que este fenómeno no ocurra o bien se controle, de manera que no llegue a niveles que limiten el potencial productivo de la especie cultivada. La mejor estrategia para minimizar la compactación es evitar trabajar los suelos húmedos, especialmente en las estaciones de mayor precipitación. La eliminación de toda la compactación del suelo, es casi imposible (Elisei, 2011).

1.3.2. Sellado y encostramientos

El término “sellado del suelo” generalmente se refiere a una capa superficial de suelo con una reducción significativa en la porosidad y permeabilidad resultante de un rápido humedecimiento del suelo seco, impacto de las gotas de lluvia, depósito del material fino del suelo, dispersión química o alguna combinación de estos procesos. El posterior secamiento del suelo puede resultar en una capa con un significativo incremento en resistencia, la cual es comúnmente denominada “encostramiento o costra del suelo” (Chartres y Geeves, 1998).

También la literatura especializada señala que los términos sellado y encostramiento del suelo, algunas veces usados como sinónimos, se refieren a cierto estado de compactación del suelo, ya que denotan una reducción en porosidad y un incremento en densidad. Tal como comentado arriba, muchos investigadores han establecido

distinciones asociando el encostramiento con el estado seco del suelo, mientras que el sellado es más relacionado con una porosidad reducida por el agua (Gabriels et al., 1998). Generalmente, bajo condiciones de suelos cultivados, el proceso de encostramiento conlleva a una reducción en el relieve de la microtopografía y, así, a una concomitante reducción en la habilidad de la superficie del suelo para detener el agua de escurrimiento (Huang y Bradford, 1992). Por lo tanto, en la medida en que el tiempo transcurre, la combinación de la formación de sellos y costras y la reducción en la microtopografía contribuyen al desarrollo de un mayor potencial para la ocurrencia del escurrimiento. Se debe destacar, que el sellado y el encostramiento al ser afectados por procesos climáticos son altamente variables en el tiempo y en el espacio (Chartres y Geeves, 1998).

1.3.3. Exceso de humedad y anaerobiosis

Cuando un suelo es afectado por exceso de humedad, ocurre una exclusión del aire, y el intercambio de gases del suelo a la atmósfera se ve impedido. Con este fenómeno se presenta un ambiente, en la zona de desarrollo de raíces del suelo, carente de oxígeno, y las actividades biológicas dentro del suelo quedan reducidas a aquellas que pueden obtener energía por respiración, sin la presencia de oxígeno libre. Tal proceso es conocido como anaerobiosis (Pardos, 2004).

Numerosas son las causas del exceso de humedad en los suelos, Fausey y Lal (1990) destacan como principales las siguientes:

1. Exceso de humedad a corto plazo, causada por lluvia excesiva o inundación.
2. Elevación del nivel freático, causado por la irrigación y la filtración de canales.
3. Mesas de agua superficiales estancadas, causadas por la compactación del suelo.
4. Elevación del nivel freático, debido al manejo de la tierra en superficie (barbecho extendido, desforestación, minería, etc.)
5. Drenaje superficial impedido, debido a la construcción de obras de infraestructura.

Con el exceso de humedad, sobreviene la pérdida de la resistencia y de la agregación del suelo, hecho que definitivamente contribuye a su degradación, previo a eventos extremos que puedan ocurrir en cada una de las condiciones.

1.4. Degradación química

Un suelo saludable tiene importantes atributos químicos y biológicos incluyendo suplencia de nutrientes, capacidad de amortiguación de acidez y bases, descomposición de la materia orgánica, destrucción de patógenos, inactivación de metales tóxicos e inactivación y degradación de compuestos orgánicos tóxicos, pero las capacidades de dichos atributos son finitas y pueden ser agobiadas por un manejo inadecuado (Logan, 1990).

Tal como ocurre con la pérdida de suelo por la erosión, es importante determinar cuanta degradación química es tolerable. Sin embargo, a diferencia de la pérdida de suelo, la cual es esencialmente irreversible en el corto plazo, la degradación química puede, en algunos casos, ser revertida. Así, por ejemplo, el exceso de acidez o de sales es neutralizable, pero la acumulación de cobre, plomo o cadmio a niveles tóxicos es irreparable (Ramírez, 1997).

Los suelos pueden sufrir degradación química como consecuencia de procesos naturales. Por ejemplo el fuego puede destruir reservas de materia orgánica, cambios hidrológicos pueden resultar en un drenaje restringido o condiciones anaeróbicas, y el aporte de cenizas volcánicas con alto contenido de sales solubles puede alterar la fertilidad del suelo (Navarro, 2007).

Cuando se trata de degradación del suelo el énfasis es puesto en los impactos antropogénicos los cuales se han agudizado con el desarrollo industrial de los últimos tiempos. Los procesos inducidos por el hombre, principalmente, incluyen el agotamiento de nutrientes, el lavado excesivo y la acidificación, y la contaminación del suelo por la excesiva o inapropiada disposición de desechos (Toledo, 2016).

1.4.1. Proceso químico básico en el suelo

Como base para establecimiento de las propiedades del suelo que deben ser tomadas en cuenta para entender el desarrollo de la degradación química del suelo se considera dos procesos básicos fundamentales:

1.4.1.1. Meteorización química

La meteorización de los minerales del suelo es un proceso natural e implacable, cuyo resultado neto es la pérdida gradual de cationes formadores de bases (Ca, Mg, K, Na) y la acumulación de compuestos insolubles de Si, Al y Fe. Este proceso es retardado por la acumulación de materia orgánica y la formación de minerales de arcilla. La materia orgánica sirve para retener cationes básicos y metálicos por intercambio catiónico y por formación de compuestos complejos (Logan, 1990).

Los suelos jóvenes poco meteorizados o aquellos formados a partir de rocas básicas, tendrán una mayor capacidad de amortiguación contra la adición de ácidos, que aquellos suelos más viejos altamente meteorizados (Ramírez, 1997).

1.4.1.2. Acumulación y pérdida de materia orgánica

Actualmente, la importancia de la materia orgánica en los procesos químicos del suelo es reconocida, aun cuando la química de la materia orgánica y su interacción con los minerales y otros constituyentes del suelo no son aun claramente entendidas. Sin embargo, es generalmente aceptado el hecho de que incrementar el contenido de materia orgánica mejora la “salud” del suelo (Logan, 1990).

Asimismo, la pérdida de materia orgánica del suelo asociada a diversas actividades antrópicas genera degradación.

1.4.2. Principales procesos de degradación química

1.4.2.1. Agotamiento de nutrientes

A diferencia de los sistemas naturales, en los cuales la producción de biomasa está en equilibrio con las reservas naturales del suelo y con la fijación biológica de nitrógeno, los sistemas de producción agrícola resultan en la remoción neta de nutrientes del suelo.

Mientras que el nitrógeno puede ser repuesto en el suelo a través de la fijación atmosférica, otros nutrientes deben ser suplidos de las reservas del suelo (Steiner, 1996). Cuando se agota el almacén disponible de nutrientes, éstos deben ser repuestos a partir de las reservas que se encuentran en forma no asimilable, a través de la mineralización de la materia orgánica, la disolución de precipitados minerales, y la desorción de especies químicas fuertemente adsorbidas. La degradación ocurre cuando el total de reservas de nutrientes son inadecuadas para la producción de biomasa o cuando la tasa a la cual los nutrientes son movilizados es menor que la demanda de la biomasa (López, 2002).

1.4.2.2. Acidificación del suelo

En términos generales, los suelos son ácidos cuando considerables porciones de sus cationes intercambiables están representados por hidrógeno y las diferentes formas de aluminio hidratado. Aunque la ocurrencia de suelos ácidos, en ciertos casos, puede deberse a la naturaleza de los materiales parentales, lo más común es que éstos se desarrollen debido a la lixiviación de bases (Sumner, 1998).

La acidificación del suelo es un proceso natural, su aceleración producto de la actividad humana la convierte en un proceso de degradación del suelo. La degradación causada por la acidificación del suelo se manifiesta a través de la reducción de la productividad de cultivos, bosques y pastizales y en ciertos casos, en la transferencia de Al soluble a los cuerpos de agua, lo cual representa un peligro para la vida acuática (FAO, 2017)

1.4.2.3. Contaminación y polución del suelo

Antes de entrar a discutir sobre estos procesos de degradación química del suelo es importante establecer una diferenciación entre los términos contaminación y polución. La contaminación del suelo es considerada como cualquier adición de compuestos que resulte en efectos adversos, detectables, en el funcionamiento del suelo. El término polución del suelo es reservado para los casos donde la contaminación, al presentar efectos tan severos y adversos, se hace inaceptable, y conduce al mal funcionamiento del suelo y consecuentemente a su degradación (De Haan et al., 1993). Así planteado,

contaminación y polución reflejan solamente una diferencia en el grado de daño al sistema suelo.

En muchos casos, la sola evaluación de la cantidad total de contaminantes en el suelo puede no ser un indicador preciso de la magnitud y alcance de la contaminación ya que el comportamiento químico de los contaminantes determina sus consecuencias ecológicas en los ambientes terrestres y acuáticos (López ,2002).

1.4.2.4. Subsistencia de los suelos orgánicos

La subsidencia o hundimiento de la tierra ocurre en los suelos orgánicos cuando estos son drenados y la materia orgánica se descompone rápidamente, reduciendo drásticamente el volumen del suelo. Los suelos orgánicos (Histosoles) son formados en tierras, en las que por su posición, los niveles freáticos altos crean condiciones de anegamiento con severas limitaciones de oxígeno. Bajo estas condiciones ocurre una alta producción de biomasa y acumulación de restos vegetales (Logan, 1990).

De gran importancia, tanto desde el punto de vista agronómico como ambiental, es la gran pérdida de nutrientes, con las aguas de drenaje que ocurre con la subsidencia de los suelos orgánicos.

1.4.2.5. Salinización

El término salinidad hace referencia a la concentración excesiva de sales solubles en el suelo y/o aguas. La salinización altera las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y en consecuencia su fertilidad. En la ciencia del suelo se identifican como sales solubles todos aquellos compuestos químicos inorgánicos más solubles que el yeso (CaSO_4), cuya solubilidad es de 0,241 gramos en 100 mililitros de agua a 0°C . Tal es el caso de la sal común (NaCl) con una solubilidad cerca de 150 veces mayor que la del yeso (Donahue et al., 1983).

En algunas soluciones de suelo la concentración de sales puede alcanzar valores mayores que el agua de mar, lo cual significa de 3 a 4% de sal (López, 2002).

Evidentemente todos los suelos contienen una cierta cantidad de sales solubles, pero para considerar la afectación por sales, la concentración de éstas en la solución del suelo debe superar ciertos valores límites. Los valores numéricos de estas concentraciones límites dependen de las condiciones geoquímicas, ambientales y de las propiedades físicas y físico-químicas de los suelos, así como de la composición química de las sales causantes del problema (Génova, 2003).

1.5. Prevención y restauración de suelos afectados por degradación

1.5.1. Prevención de la degradación

Para la prevención de la degradación del suelo es esencial estar en el conocimiento de que los suelos varían considerablemente en su habilidad para resistir los efectos perjudiciales de los procesos que conllevan a la degradación. La capacidad amortiguadora de la mayoría de los suelos es grande pero finita y por lo tanto puede ser agobiada. La diversidad y actividad de la macro y microfauna del suelo son también importantes elementos de un suelo químicamente sano. La prevención de la degradación química requiere que el impacto químico no exceda la capacidad del suelo para amortiguar los cambios que este provoca (FAO, 2016).

Los suelos con alta capacidad de amortiguación pueden resistir mayormente la agresión química que aquellos con bajas capacidades de amortiguación. Varios procesos químicos del suelo son de vital importancia para la expresión de sus capacidades de amortiguación, estos incluyen: amortiguación ácido-base, precipitación y disolución, adsorción-desorción y complejación (Logan, 1990).

1.5.2. Principios para la remediación de la degradación química (López ,2002):

1. Modificar el pH
2. Regular el estado de óxido-reducción del suelo
3. Mantener o incrementar el contenido de materia orgánica del suelo
4. Mantener la fracción de lavado

5. Promover la volatilización

Al decidir sobre las medidas para la remediación de suelos afectados por degradación química es importante considerar que los procesos químicos en el suelo son dinámicos, generalmente rápidos y usualmente reversibles. En este sentido, el suelo es raramente afectado, de tal manera, que pueda ser termodinámicamente removido de su equilibrio químico, y que la degradación química no pueda ser revertida (FAO, 2016).

1.6. Abonos verdes.

El abonado verde cobra cada día más interés como medida de incremento y conservación de la fertilidad de los suelos, sobre todo en las condiciones de los trópicos, donde las altas lluvias y temperaturas causan su rápida degradación. Por otra parte, los altos precios alcanzados por los fertilizantes minerales los hacen poco accesibles al pequeño agricultor de escasos recursos (García et al. 2010).

1.6.1. Concepto de Abonos verdes

Entendemos por abono verde el uso de determinadas plantas, tanto individualmente como mezcladas, generalmente de crecimiento rápido, que preceden o suceden a los cultivos comerciales, con el fin de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Beltrán et al. 2005).

Son plantas que se cultivan para dar cobertura al suelo y mejorar su fertilidad en forma práctica y económica. Normalmente usamos los abonos verdes como si fueran a sustituir una abonada mineral y esperamos de ellos que nos proporcionen resultados espectaculares en el siguiente cultivo. Nada más lejos de la realidad y quizá esta sea la ventaja menos significativa de los abonos verdes (Martín, 2002).

1.6.2. Importancia de los abonos verdes

Sirven para romper el ciclo de las plagas y enfermedades de los cultivos principales. Son en muchos casos, un excelente refugio para insectos beneficiosos, a tener en cuenta a la hora de diseñar las plantaciones para introducir o asociar estas plantas. Ayudan a

controlar las “malas hierbas” bien porque muchos de ellos tienen un crecimiento muy rápido o bien porque se usan como cubierta vegetal de manera que impidan la germinación de las “malas hierbas”. Como cubierta vegetal, protegen de la erosión del suelo tanto por escorrentías por lluvias como por exceso de insolación y vientos en verano (Prager et al., 2012).

1.6.3. Abonos verdes más utilizados en el mundo y Cuba

Tradicionalmente las familias más utilizadas han sido las leguminosas (son aquellas plantas que tienen sus frutos en forma de vainas y aportan Nitrógeno al suelo a través de los nódulos de las raíces) y gramíneas (son aquellas que tienen sus hojas en forma alargada y aportan fósforo al suelo). Dentro de estas familias cada abono verde tiene unas características propias definidas por su ciclo vegetativo, la cantidad de material vegetal (biomasa) que aporta, la posible incompatibilidad con el cultivo anterior o el siguiente o con los que se asocia, los requerimientos en temperatura y disponibilidad de agua y nutrientes, su rusticidad, entre otras. Todo esto habrá que tenerlo presente a la hora de elegir un abono verde, ya que podemos fracasar si sembramos plantas para regiones subtropicales o templadas y las cultivamos en zonas o en fechas no apropiadas (Castro et al., 2018).

1.6.3.1. Las especies más recomendadas (*Guanche, 2012*).

1. Aquellas más rústicas y de rápido crecimiento.
2. Las que tengan buena producción de biomasa (hojas) y aporten nutrientes (alimento) al suelo.
3. Las que puedan ser combinadas con cultivos de consumo y de renta.
4. Las que permiten disminuir malezas y plagas.

Existen dos tipos:

1. De Verano: Se pueden combinar con cultivos estivales como Maíz. Entre las principales están: Mucuna Ceniza, Mucuna Enana, Canavalia, Crotalaria, Guandú, Leucaena, Milleteo y Sorgo Forrajero.

2. De Invierno: Son utilizadas como cobertura y preparación de suelo para los cultivos de verano. Entre las principales están: Avena Negra, Lupino, Nabo Forrajero, Vicia, Centeno, Acevén, Cártamo y Arveja Forrajera.

Entre las principales leguminosas están: Mucuna Ceniza, Mucuna Enana, Canavalia, Kumandá Yvyraí, Crotalaria, Lupino, Maní Forrajero, Leucaena, Vicia, Arveja Forrajera.

Con el uso de abonos verdes podemos aportar al suelo entre 2'5 y 4 Kilos por metro cuadrado de material vegetal, que se transformará en humus, con lo cual podemos reducir los aportes de estiércol animal si no disponemos de él. Por último decir que el abonado verde es una práctica agrícola muy antigua ya conocida desde antes de la era cristiana (Prager et al., 2012).

1.6.4. Principales aporte a la respuesta agroproductiva de los suelos

La función fundamental de los abonos verdes es complementar la nutrición de los cultivos de la rotación, bien a través de la fijación de nitrógeno libre, o por su eficacia en hacer disponibles nutrientes para los cultivos que de otra manera serían inaccesibles o se perderían (Garro, 2016).

Diferentes estudios han demostrado que la aplicación de abonos verdes mejora las propiedades físicas (Yang et al. 2014; Adekiya et al. 2017), químicas (Naz et al. 2015; Adekiya et al. 2017) y biológicas del suelo (Elfstrand et al. 2007; Tejada et al. 2008), lo cual repercute favorablemente en la productividad.

Los abonos verdes, no enriquecen el suelo con fósforo (P), potasio (K) u otros nutrientes, pero sí evitan pérdidas de estos nutrientes (Guzmán, 2008).

Efectos:

-Recuperar los elementos disponibles, evitando su pérdida por lixiviación.

- Proveer al suelo de materia orgánica de descomposición rápida que eleva la vida microbiana.
- Estimular el suelo por la presencia de rizosferas renovadas y variadas.
- Ataque de la roca madre liberando nutrientes nuevos y movilización de nutrientes de difícil asimilación por otras plantas.
- Aporte de nitrógeno, a través de la fijación biológica.
- Mejora de la estructura del suelo y de su estabilidad.
- Mejora de la capacidad de retención de agua.
- Control de plantas adventicias.

Los abonos verdes, en general, no aumentan el nivel de materia orgánica del suelo salvo en casos excepcionales. Ello se debe a que el material que se incorpora al suelo es joven, poco lignificado y con un contenido alto de nitrógeno en relación al carbono, sobre todo si se trata de leguminosas (Guanche, 2012).

1.6.5. Efectos abonos verdes a las propiedades químicas de los suelos

Cuando el material vegetal (la biomasa) que hemos aportado con el abono verde se descompone, se inicia el proceso de humificación llegando a las dos formas de humus más interesantes desde el punto de vista de la nutrición de las plantas: por un lado el humus activo que puede ser absorbido por las plantas directamente y por otro lado el humus estable, que es la reserva de nutrientes del suelo y que se irá liberando progresivamente garantizando la fertilidad del suelo a largo plazo (Gilsanz, 2015).

En cuanto a las leguminosas son grandes fijadoras de nitrógeno atmosférico gracias a una simbiosis (asociación favorable) con las bacterias del género *Rhizobium* que se encuentran en sus raíces, llegando a aportar considerables cantidades de dicho nutriente (Prager et al. 2012).

1.6.6. Efectos de los abonos verdes sobre los rendimientos de los cultivos

La aplicación de abonos verdes al suelo es una tecnología agroambiental sostenible que permite mejorar el desempeño agronómico de las plantas (Sanclemente, 2013), porque

incrementa la disponibilidad de nutrientes, la eficiencia de la fertilización aplicada y la actividad microbiana del suelo.

El uso de abonos verdes en la agricultura ha sido una práctica muy efectiva para incrementar el rendimiento de los cultivos, como por ejemplo en arroz (Muñiz et al. 2012), tabaco (Bilalis et al. 2009) y maíz (Tejada et al. 2008). El incremento en el rendimiento de los cultivos por la aplicación de abonos verdes ha sido relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes (Muñiz et al. 2012; Piotrowska y Wilczewski 2012; Zotarelli et al. 2012; Yang et al. 2014).

La aplicación de abonos verdes al suelo, también contribuye a mejorar la eficiencia en el uso del agua (Bilalis et al. 2009), aumenta el contenido de clorofilas (a y b) y carotenoides en las hojas de las plantas (Tejada et al. 2008; Sanclemente 2013), estimula el crecimiento de raíces y aumenta su peso seco (Bilalis et al. 2009) y en general mejora los parámetros de crecimiento de las plantas (Naz et al. 2015); del mismo modo, incrementa los contenidos foliares de nitrógeno, potasio, fósforo, carbohidratos solubles y proteínas en granos (Tejada et al. 2008). Además, la aplicación de abonos verdes mejora la fertilidad del suelo (Adekiya et al. 2017) y aumenta la eficiencia de la fertilización aplicada (Singh et al. 2010; Yao et al. 2017), por lo que se disminuye el requerimiento de fertilizantes (Muñiz et al. 2012).

1.6.7. Características Botánicas de las especies *Crotalaria júncea*, *Canavalia ensiformis*, *Sorghum vulgare*

1.6.7.1 *Crotalaria jucea*

Clasificación Taxonómica.

Reino: Plantae; Filo: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsida; Orden: Leguminosa; Familia: Leguminosae (Fabaceas); Género: *Crotalaria* spp.

Generalidades.

Crotalaria jucea es una planta leguminosa anual que posee tallos fibrosos y erectos de 6 a 8 pies (1.8 a 2.4 m) de alto. Tiene una raíz pivotal larga y un sistema radical bien

ramificado. Las raíces forman nódulos en una relación simbiótica con bacterias beneficiosas que fijan nitrógeno atmosférico. La planta es sensible al fotoperíodo, floreciendo en días cortos, aunque hay selecciones que no son afectadas por el fotoperíodo. Las flores son grandes y amarillas, y atraen diferentes polinizadores. Las pequeñas semillas germinan rápidamente (3 a 4 días) y las plántulas que emergen crecen con mucho vigor. La planta es resistente a la sequía y se adapta a lugares cálidos. (Brunner, Martínez, Flores y Morales, 2009)

Crotalaria jucea tiene tres usos principales en la agricultura: fuente de nitrógeno, fuente de fibra y forraje para los animales.

Descripción morfológica.

Crotalaria jucea es un excelente cultivo de cobertura o estiércol verde. Germina y se desarrolla rápidamente, tiene un hábito de crecimiento denso que suprime las malezas, reduce la población de nematodos en el suelo, fija nitrógeno atmosférico y produce abundante materia orgánica. Puede producir de 5,000 a 12,500 lb/acre (5,600 a 14,000 kg/ha) de biomasa seca y aportar hasta 182 lb/acre (204 kg/ha) de nitrógeno. (Brunner et al. 2009).

1.6.7.2. *Canavalia ensiformis*)

Clasificación Taxonómica.

Reino: Vegetal; División: Traqueófitas; Clase: Angiospermeae; Sub clase: Dicotiledoneae; Familia: Leguminosae; Género: *Canavalia*; Especie: *ensifomis*. (Berlijn, 2000).

Generalidades.

Este cultivo figura entre las leguminosas más promisorias actualmente estudiadas, cuyo empleo como abono verde y cultivo de cobertura se fomenta en las zonas tropicales húmedas (Cuellar et al. 1997). Su forraje se utiliza para pastorear bovinos y ovinos y su grano se utiliza para la alimentación de no-rumiantes y rumiantes, en estos últimos sin

ningún tratamiento, en tanto que se requiere de procesos físicos, químicos o ambos, cuando se alimenta a no-rumiantes, a fin de eliminar sus factores anti nutricionales (Rodríguez, 2000).

Origen y Distribución.

La Canavalia es una planta nativa de América, reportándose su uso en las Indias Occidentales, Panamá, Guyana, Brasil y Perú. Es una planta cultivada en los trópicos y con alguna importancia en la India, Taiwán, Kenia y Hawaii; así como en el este de África. (Rodríguez, 2000).

Descripción morfológica.

La Canavalia es una leguminosa rústica, anual o bianual, de porte erecto; su crecimiento inicial es relativamente rápido, con hábito de crecimiento indeterminado que alcanza de 0.6 a 1.2 metros de altura; con formación de guías. Las hojas son alternas y trifoliadas, de color verde oscuro y brillante, con nervaduras bien sobresalientes. Presenta inflorescencias axilares en racimos, con flores grandes, corola de color violácea o roja. La vaina es larga, plana, dura, pudiendo alcanzar hasta 35 centímetros de largo y 3 centímetros de ancho, cada vaina contiene de 4 a 20 semillas grandes, redondeadas u ovaladas, de color blanco (Rodríguez, 2000).

1.6.7.3Sorgo (*Sorghum vulgare*).

Clasificación Taxonómica.

Reino: Vegetal; División: Traqueófitas; Clase: Angiospermeae; Sub clase: Monocotiledoneae; Familia: Gramineae; Género: Sorghum; Especie: bicolor (Berlijn, 2000).

Generalidades.

Se puede utilizar para la alimentación animal, principalmente como componente de mezclas y concentrados. También es usado como forrajes en la preparación de ensilajes y en pastoreo. (Bernal, 1990).

Origen y Distribución.

Se estima que el sorgo o maicillo es originario de África Oriental, probablemente Sudán o Etiopía de donde se cree fue llevado por los nativos migratorios hacia otros países del continente. En El Salvador se le encuentra en zonas costeras, valles intermedios y últimamente se ha sembrado en la zona nor – oriental, dada su capacidad de resistir sequías prolongadas. (Bernal, 1990).

Descripción Morfológica.

Su raíz es fibrosa o rizoma, posee raíces laterales grandes (profundidad radicular 1.20 metros); su tallo es herbáceo, cilíndrico y nudosos, con 8 a 10 yemas basales que se convierten en nuevos tallos, pueden llegar a tener un grosor de 5 cms, su altura va desde 0.40 a 3.0 mts o más. Sus hojas son sencillas, envainadoras, ensiformes, dísticas, alternas, situadas a dos filas puestas, con légula entre la vaina y el limbo. Las panojas pueden ser compactas, difusas o intermedias, según el largo de los entre nudos. (Wall, 1975).

1.6.8. Efecto de la Crotalaria sobre la respuesta agroproductivas de los suelos

La crotalaria puede producir de 5,600 a 14,000 kg/ha de biomasa seca y aportar hasta 204 kg/ha de nitrógeno (Brunner et al. 2009).

La crotalaria constituye uno de los medios más eficaces para conservar el suelo, enriquecerlo y mejorar su estructura (Sierra, 2005). Aumentan la fertilidad de los suelos, ya que aumentan el contenido de materia orgánica del suelo. La parte aérea de la crotalaria proporciona humus al suelo por medio de la incorporación del material muerto de las hojas y tallos vegetativos y florales. Además las bacterias Rhizobium en los nódulos de las raíces fijan nitrógeno atmosférico (Binder, 1997).

1.6.9. Efecto de la Canavalia sobre la respuesta agroproductivas de los suelos

El uso de la Canavalia ensiformis como abono verde puede mejorar las propiedades físicas del suelo como la porosidad, densidad de volumen y la formación y estabilidad de los agregados (Alonso, 2017). Es una leguminosa que fija grandes cantidades de

nitrógeno por simbiosis, y proporciona condiciones adecuadas al suelo (Bunch, 2016). Es considerada la mejor leguminosa para enfrentar frecuentes sequías en una región dada, esta especie es sumamente resistente a períodos secos y a la tierra deteriorada, produce alrededor de 60 t ha⁻¹ de biomasa, fija hasta 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

La canavalia es muy usada como abono verde por suministrar grandes cantidades de materia orgánica; entre 13 – 14 t ha⁻¹, mejorando la capacidad de retención de agua, contenido de nutrientes, textura, suavidad y profundidad de la capa superior del suelo (López y Vega, 2004).

1.6.10. Efecto del Sorgo sobre la respuesta agroproductivas de los suelos

En nuestro país la importancia del sorgo radica fundamentalmente en la utilización de la planta como parte esencial de un sistema de rotaciones para mantener la productividad y la estructura del suelo, también es empleado en la Agricultura Urbana para evitar la incidencia de plagas (Rodríguez, 2006). Además es una de las plantas hospederas más utilizadas para la producción de inoculantes micorrízicos, mediante la tecnología de canteros multiplicadores (Siervending, 1991; Herrera, 1988).

El sorgo tiene la particularidad de aportar elevadas cantidades de rastrojo que contribuyen a mejorar la cobertura de los suelos. Además presenta un sistema radical muy desarrollado y profundo que le permite muy buena exploración del perfil del suelo por un lado que contribuye a mejorar la estructura del mismo, ayudando a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas. Debido a sus cualidades, el sorgo se presenta como una alternativa muy propicia para aquellos sistemas en que se desee mantener las buenas condiciones de fertilidad (Carrasco et al., 2011).

Hay coincidencia en que el propósito principal de esta tecnología agroecológica, es gestionar la materia orgánica del suelo generada por el uso eficiente de la energía solar a través de la fotosíntesis, la acumulación de biomasa vegetal viva, que, en el tiempo se convierte en biomasa muerta sujeta a la acción de la biota del suelo que cicla los nutrientes que contiene y los hace disponibles en el agroecosistema. (Pérez y Col., 2009).

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en la Finca “ El Aeropuerto” perteneciente a la CCS Manuel A Domenech, ubicada en la localidad de Caonao, provincia y municipio Cienfuegos, en el período de julio - diciembre de 2019.

2.1. Diagnóstico de la degradación de las propiedades químicas en suelos pardos en relación con el cultivo continuado en el agroecosistema en estudio

Para el diagnóstico de suelo se abrió un perfil, donde se le realizó la descripción del perfil, por el Manual para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los suelos (Hernández *et al.*, 1995). Para la clasificación del suelo se evaluó el perfil por la nueva versión de suelo de Hernández *et al.*, (2015), aplicando al mismo tiempo la correlación de la World Reference Base (IUSS Working Group WRB, 2014) y Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010).

Para determinar el estado actual de los suelos en estudio teniendo en cuenta sus propiedades, se analizaron y caracterizaron los siguientes parámetros:

Estudios de los cambios en las propiedades químicas del suelo bajo cultivos

Las muestras se tomaron en el perfil de suelos en condiciones de campo, y fueron trasladadas al laboratorio del Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA). La caracterización de los métodos analíticos, se utilizó el manual de Técnicas analíticas para análisis de suelo, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Paneque *et al.*, 2002).

- Materia Orgánica (%) por el método Walkley – Black (Combustión Humedad)
- pH, por potenciometría relación suelo:agua 2,5:1
- Cationes intercambiables por el método con AcNH₄
- Fósforo asimilable por Oniani
- Carbono orgánico calculado por el método del cálculo de la masa de suelo según Eller y Bettany (1995)

2.2. Determinación en condiciones semicontroladas el efecto de la adición de los abonos verdes sobre las variables morfofisiológicas del cultivo de maíz

Para determinar la influencia de las diferentes especies de abonos verdes para mejorar la capacidad agroproductiva del suelo Pardo agrogénico en estudio, se realizó un experimento en condiciones semicontrolada en maceta experimentales, ubicadas en la en la Universidad de Cienfuegos, durante el período comprendido de julio – diciembre de 2019.

La siembra de los abonos verdes (AV) (*Sorghum vulgare*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, L) se realizó a finales del mes de julio de 2019, con un marco de plantación de 0.45 m por 0.30 m para la canavalia y, marco de plantación de la crotalaria y el sorgo fue de 0.45 m entre hileras y alto número de semillas.m⁻¹.

A los 60 días posteriores a la siembra de los AV, inmediatamente se procedió al corte con machete, se asperjó sobre la parcela uniformemente el material verde picado y luego se enterró con un azadón, picando el suelo a una profundidad de 5 cm, evitando disturbios el suelo. Inmediatamente después de la incorporación de los abonos verde se realizó la preparación del suelo.

Luego a los 20 días después de la incorporación del abono verde en el suelo. Se realizó la siembra del cultivo de maíz de forma manual utilizando un marco de plantación de 0.70 m x 0.25 m. Para evaluar los indicadores morfológicos del cultivo, se seleccionaron 20 plantas y se muestrearon cada siete días.

Caracteres cuantitativos del cultivo de maíz

Números de hojas: Se contó el número de hojas por planta sin tomar en cuenta el daño mecánico por insectos.

Altura de las Plantas (cm): desde la base del tallo hasta el pedúnculo, Se utilizó una regla métrica.

Diámetro de los Tallos (cm): tomado desde la base del tallo con pie de rey.

Posterior a los 56 días se extrajeron las plantas de las bolsas para realizarle el pesaje de la biomasa fresca del follaje y la raíz en una balanza de precisión digital, una vez pesadas cada muestra fueron colocas en la estufa a una temperatura de 68 °C, cuando alcanzaron el peso constante de cada muestra, se le realizó pesaje de cada muestra seca.

Tratamientos a evaluar:

T0: Suelo agrogénico (testigo)

T1: Suelo agrogénico + *Sorghum vulgare*

T2: Suelo agrogénico + *Crotalaria juncea*

T3: Suelo agrogénico + *Canavalia ensiformis*

Diseño experimental.

El experimento se desarrolló con un diseño completamente aleatorizado con 20 repeticiones por cada tratamiento. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) para cada variable. Los datos del número de hojas se transformaron a \sqrt{x} , después se le realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey (≤ 0.05). Los datos obtenidos se procesaron mediante el paquete estadístico STATGRAPICS[®] Centurion XV.

Capítulo 3

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1. Diagnóstico de la degradación de las propiedades químicas en un suelo Pardo Agrogénicos, en relación con el cultivo continuado

3.1.1. Caracterizaciones morfológicas del suelo de cultivo continuado

La morfología de los perfiles de suelos brinda una información muy importante para diagnosticar los procesos de formación y propiedades de los suelos que se derivan de estos procesos, resultando la primera información que debe enfrentar el edafólogo en sus investigaciones (Gueraimova y Khitrov, 2016).

Además, se ha podido demostrar que el manejo diferenciado de los suelos, sobre todo en la variante de cultivo intensivo y continuado, se manifiesta inicialmente en las características morfológicas de los suelos como se plantea en los resultados obtenidos para los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de las llanuras cársicas (Hernández et al., 2013, 2014).

Como se aprecia en la tabla 3.1.1, este suelo se ha formado por el proceso de sialitización, dando lugar al horizonte principal de diagnóstico siálico, por lo que el suelo es del tipo Pardo, presenta una estructura de bloques prismáticos entre los 18 y 60 cm de profundidad, con caras de deslizamiento, dando lugar a las características vérticas, en el horizonte B₂, se diagnostican manchas de gleyzación suave.

Este suelo se clasifica como un **Pardo vértico**, sin carbonatos; con un perfil diagnóstico del tipo **A-B₁sial (v) -B₂sial (g)**, según Hernández et al. (2015); **World Reference Base (2014)**: Feozem gléyico, vértico, cámbico, ánthrico, arcilloso; **Soil Taxonomy (2010)**: Vertic Haplustoll.

Como puede apreciarse por la descripción, el perfil también está formado bajo el proceso de sialitización, con el tipo genético de suelo Pardo. Muy importante resulta el tipo de estructura, que es prismática lo cual evidencia que hay presencia de características vérticas.

Tabla 3.1.1. Características morfológicas del perfil cultivo continuado.

Horizontes	Profundidad (cm)	Clase textural	Estructura	Color	Consistencia
A₁₁	0 - 18	Arcillosa	B. subangulares y angulares	Gris muy oscuro (10YR3/1)	Compactado y plástico
A₁₂	18 - 42	Arcillosa	B. prismática	Gris muy oscuro (10YR3/1)	Compactado y algo plástico
B_{1sial(v)}	42 - 60	Arcillosa	B. prismáticos	P. amarillento oscuro, con manchas P. grisáceo muy oscuro (10YR4/6, 10YR3/2m)	Plástica
B_{2sial}	60 - 90	Franco arcilloso	no apreciable	P. amarillento, con manchas rojo amarillento y oscuras (10YR5/6, 5YR4/6)	Plástica

Toda esta problemática existente se debe cuando llega la época de sequía comienza a perder humedad por evaporación en la parte superior del perfil , y comienza la rotura de la estructura , en este caso la arcillas comienza contraerse y en la superficie del mismo comienza la formación grietas por la pérdida de la humedad ,comienza a formarse estructura de bloque, este fenómeno ocurrido se debe que este manejo el suelo se encuentra desnudo , no hay presencia de una vegetación perene que amortigüe la incidencia de los rayo solares , altas temperaturas , altas presiones que ejerce el agua cuando el suelo encuentra con grietas.

Este proceso fue descrito por Agafonov (1981); Morales et al. (2005); Hernández et al. (2015) para los Vertisoles de Cuba ocurre en estos suelos, pero en ellos los bloques prismáticos no son tan grandes debido principalmente al espesor arcilloso, medianamente profundo.

Por otra parte, Navarro et al. (2000) demostró que los sistemas de labranza modifican la estructura del suelo y, dependiendo del contenido de humedad de éste, la labranza favorece o destruye la estructura, repercutiendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Morrell et al. (2008), explicaron que a medida que va siendo más intensa la acción antrópica, mayor serán las pérdidas en la estructura de los suelos, hasta un punto que conlleva a la degradación de los mismos, así como la pérdida en sus contenidos en materia orgánica, nutrientes para las plantas.

Según González et al. (2009); Murray et al. (2015) una de las principales causas es la compactación provocada por presión sobre el suelo, esta característica se pudo apreciar en los suelos cambisoles, solonetz y arenosoles, por el cultivo continuado, formándose bloques en los primeros 20 cm, alcanzando tamaño aproximadamente de 20 cm o más.

3.1.2. Características de las propiedades químicas del suelo de cultivo continuado

En la Tabla 3.1.2.1, se muestran las características químicas del suelo. Teniendo en cuenta los resultados, se puede apreciar que el pH en el horizonte superior va de ligeramente alcalino a medianamente alcalino los tres perfiles estudiados, siendo más alcalino en profundidad por la presencia de los carbonatos. El contenido de materia orgánica (MO) varía en todo el perfil, existe un porcentaje mediano de MO en profundidad de 0 – 42 cm y un contenido bajo en la profundidad de 42 – 90 cm.

En la suma de bases cambiabiles alcanzo valores altos en la parte superior del perfil y mediana en los horizontes inferiores, en este resultado puede incidir la alta presencia de cationes de calcio y magnesio, y, al mismo tiempo por la presencia de arcillas de tipo de la montmorillonita; lo que demuestra el proceso de sialitización, dando lugar a la formación de suelos Pardos Sialíticos.

Al analizar los siguiente resultados los que alcanzaron mediano y bajo, se demostró que en estas área de cultivo continuado se viene denotando un proceso de degradación de las propiedades analizadas, y una principales causas atribuible es el sistema de monocultivo de caña de azúcar por más de 60 años y a partir de la década de los 90 el suelo paso a cultivos varios, diez años atrás fueron realizadas aplicaciones de compost como enmienda orgánica, pero no fue suficiente por el exceso de explotación.

Tabla.3.1.2.1. Propiedades químicas de un suelo Pardo agrogénico

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	MO (%)	P (ppm)					Suma
					Ca	Mg	Na	K	
					————— (cmol kg ⁻¹)				
A ₁₁ SL	0 -18	7,8	2,62	48,4	26,5	9,00	0,46	0,50	36,46
A ₁₂ SL	18 - 42	7,9	2,55	33,7	23,0	12,0	0,57	0,38	35,95
B ₁	42 - 60	8,4	1,97	8,83	23,5	5,00	0,84	0,36	29,70
B ₂ (g)	60 - 90	8,4	1,06	22,60	24,0	1,00	1,36	0,37	26,73

Estos resultados se relacionan con los obtenidos por Domínguez *et al.*, (2006) los cuales identificaron como causas, la no aplicación sistemática de enmendantes orgánicos y la poca protección y aplicación de medidas para la conservación del suelo.

Méndez (2015) demostró que los sistemas de labranzas de conservación cero, presentan un efecto positivo sobre el contenido de materia orgánica en el suelo a través del tiempo.

La calidad y fertilidad del suelo, se verán beneficiadas por la captura de carbono y el aumento de la materia orgánica, lo que se reflejará en el ambiente, la resiliencia y la sostenibilidad de la agricultura. En la tabla 3.1.2.2, demuestra los resultados de la reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 0 – 25 cm, el resultado de esta es baja, debido a los procesos degradativo que se está formando en esta área de cultivo, además se pudo evidencia bajos índices de la biodiversidad de especies de macrofauna y la mesofauna edáfica. Estos resultados ante expuesto se relacionan con lo de Reicosky (2002) quien demostró que el manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de CO₂ hacia la atmósfera. Mientras que, Martínez *et al.* (2004); Sandoval *et al.* (2008) una de la principal causa también lo ha sido la perturbación de la labranza, es una de las mayores causas de la disminución de la materia orgánica del suelo.

También este fenómeno se asocia a la poca población de árboles existente en el lugar ya que los mismo juegan un papel muy importante en la captura del carbono ya que, las hojarascas, las raíces de los árboles y la acción de la

macrofauna, mesofauna y microfauna del suelo, ejercen el aumento del carbono en los mismos Fujisaki *et al.*, (2017).

En relación con esto, Yuan *et al.* (2018) plantearon que los ecosistemas de arboledas contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso del suelo, por lo que es importante considerar el manejo de los bosques para la fijación del carbono.

Tabla.3.1.2.2. Cantidad de reserva de carbono orgánico en el suelo Pardo agrogénico.

Uso del suelo	Profundidad (cm)	CO (%)	Reserva CO (0-25 cm)	
			Masa del suelo	(Mg. ha ⁻¹)
Cultivo	0 – 18	1,52	2646	43
	18 – 25	1,48	1050	

Algunos autores han recomendado a utilizar medidas de manejo agroecológicas, con vistas a una política futura de captura y secuestro de carbono a la atmósfera, que resulte beneficiosa en la reducción de CO₂ a la atmósfera y también demostraron que, mediante el establecimiento de una arboleda de (*Leucaena leucocephala* y *Albizia julibrissin*), se pudo obtener un incremento de 6,1 t ha⁻¹ de carbono en la capa superior de 0-20 cm (Hernández *et al.*, 2008). Las prácticas de mejoramiento y conservación de suelos disminuyen la pérdida de suelos en 62 t ha⁻¹, además de incrementar el contenido de nutrientes y la reserva de carbono en el suelo en un 20.67 % (Blanco *et al.*, 2017).

Según García *et al.* (2011) las rotaciones de cultivos hortícolas incluyendo la siembra de un abono verde anual e incorporaciones de estiércol permitirían mejorar en forma importante el contenido de carbono orgánico de los suelos más degradados bajo horticultura. Sin embargo, Taghizadeh y Olesen (2016) plantean que las estimaciones realizadas en campos daneses muestran un potencial bastante pequeño para aumentar el carbono orgánico del suelo en los sistemas de cultivo, incluso cuando se produce una conversión a rotaciones con más pastizales o se incrementa el uso de cultivos de cobertura.

3.2. Efecto de la adición de los abonos verdes sobre las variables morfofisiológicas del cultivo de maíz

La Tabla.3.2.1, muestra el efecto de las especies de abonos verdes sobre los parámetros de crecimientos del cultivo de maíz. Como se puede apreciar existe una diferencia significativa en cuanto el número de hoja de los tratamientos analizados, destacándose con mayor número de hoja los tratamientos crotalaria y canavalia, con valores bajo el testigo y el sorgo.

En la variable de crecimiento la altura de la planta no presento diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, el diámetro del tallo en los tratamientos crotalaria y canavalia alcanzaron valores significativos respecto al testigo y el sorgo.

Los resultados muestran que no existe diferencia significativa en cuanto a la BFF entre los tratamientos estudiados, mientras, que la BSF demostraron diferencias significativas entre las especies, aportando mayores resultados el frijol canavalia y la crotalaria, no así ocurre en los tratamientos testigo y sorgo.

En el caso de la BFR no demostró diferencia significativa entre los tratamientos. Pero al analizar la BSR se pudo observar que existe una diferencia significativa poco notable entre ellos, destacándose en este caso con un valor superior la crotalaria y con valores bajos el sorgo.

Tabla 3.2.1. Efecto de las especies de abonos verdes sobre los parámetros del crecimiento del cultivo de maíz.

Tratamientos	NH	AP	DT	BFF	BSF	BFR	BSR
		(cm)		(g)			
Testigo	2,06 ^a	1,13 ^a	1,11 ^a	1,48 ^a	0,75 ^a	3,04 ^a	1,64 ^{ab}
Crotalaria juncea	2,33 ^b	1,146 ^a	1,19 ^c	1,44 ^a	0,86 ^{bc}	3,07 ^a	1,83 ^b
Sorgo	2,01 ^a	1,11 ^a	1,14 ^b	1,46 ^a	0,79 ^{ab}	2,83 ^a	1,60 ^a
Canavalia	2,28 ^b	1,13 ^a	1,18 ^c	1,47 ^a	0,89 ^c	2,84 ^a	1,77 ^{ab}
C.V. (%)	16,30	19,84	8,44	10,51	13,24	15,29	13,34
Error	0,0149	0,0112	0,0054	0,0199	0,0141	0,0582	0,0295

Prueba de Tukey de comparación de múltiples medias. Valores con letras diferentes difieren significativamente con un nivel de significación de 0,05. Para NH=número de hojas; AP= Altura de la planta; DT= Diámetro del tallo; BFF=

Biomasa fresca del follaje; BSF= Biomasa seca del follaje; BFR= Biomasa fresca de la raíz; BSR= Biomasa seca de la raíz.

Los resultados críticos que manifestaron los tratamientos analizados anteriormente en cuanto al mejoramiento de las variables de crecimientos de la planta de maíz, en el caso específico del sorgo es una planta que presenta una relación C/N alta, esto implica que la mineralización es más lenta dando como resultado un residuo que perdura más en el tiempo y eso implica que es más difícil de mineralizar y que los nutrientes se encuentran menos disponibles para el cultivo subsiguiente. Siguiendo la misma línea de los resultados positivos antes expuestos, la *Crotalaria* y *Canavalia* son leguminosas que presentan una baja relación de C/N, lo que resulta una rápida mineralización del residuo y el nitrógeno contenido en ellas es rápidamente liberado desde los residuos.

Estos resultados se relacionan con los obtenidos por lo de Gracias et al. (2000), quienes obtuvieron rendimientos superiores en 4,6 y 5,2 t. ha⁻¹ del cultivo de la papa incorporándole *Canavalia ensiformis* al suelo. Similares resultados en cuanto a la mejora del rendimiento y de los parámetros de crecimiento de las plantas de interés económico, cuando se aplica abono verde al suelo, fueron reportados por Muñiz et al. (2012) y Yao et al. (2017) en arroz, Bilalis et al. (2009) en tabaco, Sañudo et al. (2001) en arveja, Subaedah et al. (2016) en maíz y Adekiya et al. (2017) en okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench).

Por su parte, Muraoka et al. (2001), con la incorporación de la *crotalaria* en un suelo Latosol rojo oscuro de Brasil, logro incrementar el rendimiento del grano de arroz en un 34 y 36 %.

En relación con las variables masa fresca y masa seca del tabaco, los resultados se relacionan con los alcanzados en el cultivo del maíz y el banano cuando se combinó *canavalia* con HMA y fue incorporada como abono verde (Castillo et al., 2010). La mayor cantidad de biomasa seca (BS) fue encontrada en la *crotalaria* con 10,7 t ha⁻¹, superior a 6,00 t. ha⁻¹ reportada por Ferreira et al. (2011) en condiciones edafoclimáticas similares. Resultados similares fueron encontrados por Pacheco et al. (2008) con producciones próximas a 9000 kg ha⁻¹ en el cultivo del maíz en condiciones tropicales.

Igualmente en Brasil, Ferreira y Carvalho (1996), al utilizar diferentes leguminosas en rotación con el maíz, obtuvieron los mejores resultados con el empleo de *Crotalaria juncea*. Por otra parte Bravo (1998), en Panamá al utilizar

Canavalia ensiformis en rotación con el maíz, observó que el rendimiento de este cultivo fue incrementado hasta en un 91% por el efecto de la rotación con estas especies.

En general los resultados anteriormente obtenidos reflejan una relación directa entre los rendimientos del maíz y la magnitud de los aportes de fitomasa y nutrientes de las especies de abonos verdes en rotación; en este sentido Crotalaria juncea y Canavalia ensiformis con los mayores aportes, fueron las que repercutieron en mayor magnitud sobre las variables morfofisiológicas del maíz; Sorgo por su parte con los más bajos aportes tuvo menos influencia en el cultivo.

Conclusiones

En diagnóstico de las propiedades químicas del suelo, las variables presentaron resultados favorables fueron la capacidad de intercambio catiónico y el pH, también se detectaron otras variables que se encuentran degradadas por la influencia antrópica, como son la materia orgánica, el carbono orgánico y la reserva de carbono en el suelo.

Los tratamientos que propiciaron incrementos en las variables morfofisiología del cultivo de maíz fueron las especies crotalaria y canavalia en cuanto a número de hojas, diámetro del tallo y en la biomasa seca del follaje y la raíz en relación con los demás tratamientos estudiados.

Recomendaciones

- ❖ Llevar a condiciones de campo y de producción de maíz, los resultados obtenidos en el suelo Pardo mullido sin carbonatos.
- ❖ Extender estos resultados a otras zonas productivas de nuestro país, con características edafoclimáticas similares a las estudiadas, con el fin de mejorar los rendimientos y disminuir los daños al medio ambiente.
- ❖ Promover alianzas con las entidades municipales, con el MINAG para fomentar la recuperación de suelos degradados que se evidencia en la zona, mediante charlas e incentivos como producción de semillas de abonos verdes ya que estas son más factibles económicamente.
- ❖ Utilizar abonos verdes como alternativa de manejo y mejoramiento de los suelos, debido al incremento de materia orgánica y fertilidad del suelo.
- ❖ Dar a conocer a los agricultores, sobre los beneficios de los cultivos de abonos verdes mediante capacitaciones

Bibliografía

- Aguilar, M. (2016). *Evaluación de tres tipos de abonos verdes, mezcla de leguminosa más gramínea, crucífera y amarantáceas, en los suelos agrícolas degradados del cantón Bolívar*. (tesis de posgrado). Universidad Técnica de Ambato.
- Alfonso Linares, C. A., Monedero García, M. (2004). *Uso, manejo y conservación de suelos*. Instituto de Suelos. Cuba.
- Álvarez, I. (2007). Abonos verdes y restauración de suelos. *Revista Idea*, 4(1). <http://www.ideaa.es/>
- Alonso N.J.M., (2017). Mejoramiento de las propiedades de un suelo Ferralítico rojo con el uso de la *Canavalia ensiformis* (L). *Revista Ingeniería Agrícola*; 4(1).
- Bunch R., (2016). ¿Cómo prohibir las sequías? Aprendiendo de los africanos que ya aprendieron de los latinoamericanos. LEISA. *Revista de Agroecología*; 32(2), 8–11.
- Bergsma, E., P., Charman, F. Gibbons, H. Hurni, W.C. Moldenhauer, y S. Panichapong. (1996). Terminology for Soil Erosion and Conservation. *International Society of Soil Science*. Wageningen.
- Bernal Fundora, A., Hernández Jiménez, A. (2017). *Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura*. 38, (4), 50- 57.
- Brunner, B.; Martínez, S.; Flores, L.; Morales, P. (2009). *Hoja informativa Crotalaria. Proyecto de Agricultura Orgánica Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales*. <http://proorganico.info/Crotalaria.pdf>
- Blum, W.E.H. (1998). Basic concepts. *Degradation, resilience, and rehabilitation*. 1-16.
- Castro Mendoza, I. (2013). *Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín*. (Tesis doctoral). Colegio de Postgraduados.
- Castro-Rincon, E., Mojica-Rodríguez, J.E., Carulla-Fornaguera, J.E., Lascano-Aguilar, C.E. (2018). *Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico*. <http://www.agrocaibo.ucr.ac.cr/index.php/agromeso>.

- Camargo, C., Pacheco, C., López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica. Una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente* 20(2), 265-280.
- Chancosa, C., y Viana, E. (2015). *Evaluación del efecto de abonos verdes en la calidad del suelo, en la localidad de Peribuela*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte.
- Chartres, C.J. y G.W. Geeves. (1998). Advances in GeoEcology, The impact of soil seals and crests on soil water balance and runoff and their relationship with land management. *AgroCaibo*. 31, 539-548.
- Dabin, Z; Pengwei, Y; Na, Z; Changwei, Y; Weidong, C; Yajun, Gao. (2016). European Journal of Agronomy. Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics intraditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *Agronomy Green*. 72, 47-55.
- De Oro, LA. (2011). *Rugosidad superficial y erosión eólica en suelos de la región semiárida pampeana central, Argentina*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Sur.
- Díaz Mendoza, C. (2011). Ingeniería e Investigación. *Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización*. 31 (3), 80-90.
- Dokuchaev, V. V. (1899). *Sobre el estudio de las zonas de la Naturaleza. Zonas edáficas verticales*. Científico-Técnica.
- Encina R., Arnulfo y José Ibarra. (2002). *El Ordenamiento Territorial, Medio Fundamental para el Bienestar de la Población*. <http://ec.europa.eu/comm/environment/soil/index.htm>.
- Espejo Serrano, R. (2016). *La Agricultura de Conservación, herramienta para potenciar el papel del suelo como sumidero de CO2 atmosférico y defender a los suelos agrícolas de la erosión*. *AgroCaibo* 33, 90-98
- Organización para la alimentación y agricultura (FAO), (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo Resumen Técnico*. Preparado por el Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma.
- FAO, (2015). *Suelos y biodiversidad: Los suelos albergan una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta*. www.fao.org

- FAO. (1967). *La Erosión del Suelo por el Agua*. Colección FAO: Fomento de Tierras y Aguas No. 7. Roma, Italia.
- Ferrera-Cerrato, R., A. Ortiz, J. Delgadillo, y S. Santamaria. (1997). *Uso de la materia orgánica en la recuperación de tepetates y su influencia en los microorganismos*. En: C. Zebrowski et al. *Suelos Volcánicos Endurecidos*. (225-237). Impresora Polar.
- Fausey, N.R. y Lal, R. (1990). Soil wetness and anaerobiosis. In: R. Lal, B.A. Stewart. (173-186). *Soil Degradation*. New York, USA. Springer- Verlag.
- Gabriels, D., R. Horn, M.M. Villagra y R. Hartman. (1998). *Assessment, prevention and rehabilitation of soil structure caused by soil surface sealing, crusting and compaction*. In: R. Lal et al. (eds.). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. *Advances in Soil Science*, 129-165. Boca Raton.
- Gaitán, J., Navarro, M., Vuegen, L., Pizarro, M., Carfagno, P., Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina* (tesis doctoral). Centro de Investigación de Recursos Naturales.
- García, A. (1998). *Manejo de Suelos Salinos en América Latina*. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de Colombia.
- García, A. y L.E. Castillo. (1991). Suelos Ecuatoriales. *La relación RAS-PSI en suelos del Valle del Cauca*. *América Verde* 21(2): 21-26.
- García, J., Murillo, B., Nieto, A., Fortis, M., Márquez, C., Castellanos, E., Quiñones, J. y Ávila, N. (2010). *Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502011>
- Gásperi, R.R. (1975). *Evaluación del Proceso Erosivo en las Áreas Planas de la Depresión de Quíbor*. FUDECO.
- Hernández, A. y Pastor, J. (2008). *La restauración en sistemas con suelos degradados: Estudio de casos en agroecosistemas mediterráneos y taludes de carretera*. CIEMAT.
- Huang, C.H. y J.M. Bradford. (1992). Soil Science Society of America Journal, Application of a laser scanner to quantify soil microtopography. *Agrocaibo* 56, 14-21.

- Karlen D.L., M.J. Mausbach, M.J., J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris y G.E. Schuman. (1997). Soil Science Society of America Journal. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Agrocaibo*. 61, 4-10.
- Lal, R. (1995). *Land use and soil management effects on emissions of radiatively active gases from two soils in Ohio*. In: R. Lal et al. Soil Management and Greenhouse Effect. 41-60. CRC Press.
- Lal, R. (1998). *Soil quality and sustainability* In: R. Lal et al. (eds.) Methods for Assessment of Soil Degradation. pp. 17-30. CRC Press.
- Logan, T.J. (1990). *Chemical degradation of soil*. In: R. Lal, B.A. Stewart (eds.) Soil Degradation. pp. 187-221. Springer-Verlag.
- MAGAP (2017). *Manejo agroecológico de suelos*. <http://balcon.magap.gob.ec>.
- Miguel, R. Nieto, Ildfonso Bonilla, Luis Bolaños. (2014). Fijación biológica del nitrógeno. http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/Investigacion/fijacionN.htm
- Marín, G. (2011). *Edafología 1*. Caldas. Espaciograficosa.
- Martín, G. M., (2002) *Mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y su participación en la nutrición nitrogenada del maíz (Zea mays L.) cultivado sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana*. (Tesis de maestría), INCA.
- Navarro, G. y D. Flores. (1997). *Manejo agronómico diferencial de la asociación maíz- haba en tepetete de quinto año de uso agrícola*. En: C. Zebrowski et al. Suelos Volcánicos Endurecidos. 287-295. Imprenta Polar.
- Páez, M.L. (1992). Degradación del suelo. La erosión hídrica. En: M.L. Páez et al. Conservación de Suelos y Aguas. 1-26. CIDIAT.
- Olson, G. (1978). *Clasificación de Tierras*. CIDIAT.
- Laban, P.; Metternicht, G; Davies, J., (2016). *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. www.iucn.org.
- Peralta, V. (2010). *Medidas de conservación del suelos*. <http://visionagroecologica.blogspot.com>
- Prager Mósquera, M., Sanclemente Reyes, O., Sánchez de Prager, M., Miller Gallego, J., Ángel Sánchez, D.I. (2012). *Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos* (tesis de grado). Universidad Nacional de Colombia.
- Seignobos, Ch. (1998). *Restauration de la productivité des sols tropicaux*. Orstom Actualités. 58, 35-37

- Sierra, J. (2005). *Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros*. (Tesis doctoral). Universidad de Antioquia.
- Sumner, M.E. (1998). *Acidification*. In: R. Lal et al. *Methods for Assessment of Soil Degradation*. 213-228. CRC Press.
- Salgado, G. S. y Núñez, E. R. (2010). *Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos*. (Tesis de maestría). Colegio de Postgraduados y Mundi Prensa.
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos*. IICA.
- Valentin, C. y Bresson, L.M. (1992). Morphology, genesis and classification of surface crust in loamy and sandy soils. *Geoderma. Revista Idea*, 55, 225-245.