

PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL USO Y MANEJO SOSTENIBLE DE LOS SUELOS

CONTROL DE LA EROSION Y MEJORA DE LA ESTRUCTURA DE LOS SUELOS

M. Sc. Jorge Luis Álvarez Marqués¹

1. Universidad de Matanzas, jorge.alvarez@umcc.cu

Resumen

La agricultura convencional ha causado muchos problemas ambientales que se relacionan directa o indirectamente con la degradación del recurso suelo. La base fundamental de un adecuado uso y manejo del suelo está relacionada con los principios de la Agroecología, la cual propone revertir estos fenómenos y lograr una mayor protección del medio ambiente. Esta primera parte propone el adecuado uso y manejo del suelo partiendo de la evaluación de las limitantes edáficas, la no violación de la aptitud o capacidad de uso recomendado de acuerdo a la Clase Agrológica del campo de cultivo o la Clasificación Agroproductiva por cultivo, a fin de recomendar medidas de manejo para la conservación del suelo y el agua, y mejora de la estructura del suelo, por último mantener la capacidad del suelo de suplir nutrientes a las plantas cultivadas, de los cuales este último aspecto será objetivo de un segundo documento.

Palabras claves: manejo del suelo; clases agrológicas; conservación del suelo; estructura del suelo

Las transformaciones agrícolas que tuvieron lugar a finales del siglo XX, según (FAO, 2017a), se basaron en la intensificación de la producción a gran escala mediante el uso de grandes cantidades de insumos. En muchos países, este planteamiento ha tenido graves consecuencias ambientales, como la deforestación masiva, el agotamiento del suelo y el agua, y niveles elevados de emisiones de gases de efecto invernadero. Todo lo cual implica que las futuras transformaciones tendrán que realizarse con unas limitaciones ambientales sin precedentes, que exigirán la adopción de medidas encaminadas tanto a mitigar el cambio climático y la escasez de recursos naturales, para adaptarse a ellos.

Se estima que alrededor de un 80% de las problemáticas ambientales a nivel mundial, están relacionadas directa o indirectamente con el recurso suelo, tales como: disminución de su fertilidad, deforestación, erosión hídrica y eólica, deslizamientos, inundaciones y sequías, disminución de la biodiversidad, desertificación, entre los más importantes (Rodríguez *et al.*, 2017), ya que los suelos proveen un medio insustituible para el crecimiento de las plantas y la actividad biológica, regula y reparte el flujo de agua y su acumulación en el ambiente y amortigua ambientalmente la formación y destrucción de compuestos peligrosos para el ambiente, además produce biomasa (alimentos, forrajes, fibras, energías renovables, masas forestales), fija gases que producen el efecto invernadero como carbono atmosférico en forma de materia orgánica del suelo, funciona como soporte físico de viviendas y todas las actividades humanas.

En los agroecosistemas nos encontramos comúnmente problemas de degradación de los suelos de índole física (compactación, erosión, costra superficial, entre otros), química (desbalance nutricional, salinización, contaminación) y biológica (reducción de la actividad biológica, bajas poblaciones de meso y microorganismos) (Nogales, 2015). Estos problemas obligan a los agricultores a aplicar grandes cantidades de insumos con el fin de obtener producciones aceptables, incrementando los costos de producción, acelerando los problemas de degradación de los recursos naturales y generando sistemas de producción insostenibles y poco competitivos, provocando en definitiva la disminución de la capacidad productiva y la fertilidad natural de los suelos.

Si reconocemos el concepto de fertilidad del suelo en su concepción más amplia como el grado de fecundidad que presenta el suelo, o sea, su capacidad de producir cosechas, nos damos cuenta de la importancia que reviste el hecho de controlar o evitar los procesos degradativos en las tierras de cultivo, para lograr el nivel de sostenibilidad tan necesario en la producción alimentaria mundial en el presente siglo y poder enfrentar así el reto de nutrir a un mundo mucho más poblado del que contamos actualmente. Se prevé que la población mundial aumente un 25% entre 2015 y 2030, pasando de 3 500 millones a casi 4 500 millones de habitantes, mientras que las poblaciones urbanas crecerán a un ritmo más rápido y pasarán de 1 300 millones a 2 000 millones. En fin, para el 2050 está previsto (FAO, 2011), que el aumento de la población que podrá llegar a más de 9 600 millones de personas, lo que provocaría un incremento del 70 por ciento de la demanda mundial de la producción agrícola y casi un 100 por ciento para los países más pobres en desarrollo,

donde el incremento de la producción procedería básicamente de una intensificación de la producción en las tierras actualmente cultivadas, para lo cual el mundo debe irse preparando con el perfeccionamiento de una producción agrícola sostenible, que evite la degradación ambiental y se adapte a los cambios climáticos, en el cual predomine un control y reducción sistemática de los procesos degradativos que amenazan actualmente la biodiversidad y los recursos suelo y agua; acción que resulta apremiante en el transcurso de los próximos años si tomamos en consideración la malnutrición y la pobreza rural existente hoy en muchos pueblos y países, todo lo cual constituye un reto para la seguridad alimentaria de la humanidad (Duran y Acosta, 2018).

Si anualmente se incrementa la población mundial en unos 80 - 90 millones de habitantes y los niveles de pérdida de suelo por erosión y desertificación no se reducen, sino por el contrario se incrementen, el futuro alimentario de la población mundial en corto periodo de tiempo se verá seriamente afectado, por lo que se requiere activar con urgencia nuevas políticas mundiales que logren una mejor distribución de las riquezas y tecnologías hacia los países más pobres, donde estos fenómenos resultan cada vez más dramáticos. Por lo cual se necesita desarrollar sistemas agrícolas más productivos y sostenibles para satisfacer la creciente demanda de alimentos (FAO, 2017a).

La situación de los suelos de Cuba (Casimiro, 2016), resulta algo complicada, ya que se reporta que el 14% del país está afectado por la desertificación, un millón de ha por la salinización, 2,9 millones de ha por la fuerte erosión, 2,7 millones de ha por drenaje deficiente, 1,6 millones de ha por altos niveles de compactación, 2,7 millones de ha por altos niveles de acidez y 4,7 millones de ha por bajos volúmenes de materia orgánica; en miles de estas hectáreas coinciden más de una de estas afectaciones, lo cual pone en evidencia la necesidad del control de los procesos degradativos y la posible rehabilitación de estas áreas, ya que ponen en peligro la resiliencia natural de los sistemas y su capacidad de recuperación, debido a que el deterioro de las funciones de los agroecosistemas reduce el potencial para adaptarse a los procesos de cambio climático. También las zonas rurales, con el deterioro de los suelos y medios de vida de su población, se presentan problemas y tendencias demográficas insostenibles, caracterizados por despoblación rural y la emigración hacia las ciudades (CPP, 2014).

Cuba no está exenta de estos impactos, presenta un 71,23% de la superficie de los suelos degradados por estar sometidos a una gran antropogénesis tropical, como es el caso de los Ferralíticos Rojos de la llanura Habana-Matanzas, degradados fundamentalmente por su manejo inadecuado en las últimas cinco décadas, mientras que la situación de la erosión en Cuba como fenómeno degradativo resulta más preocupante, ya que en la actualidad, más del 40% de los suelos cubanos presentan afectaciones por erosión y si se refiere a la erosión potencial, ese porcentaje se eleva hasta el 56% (Martínez *et al.*, 2018), lo cual es alarmante si se considera que el primer síntoma de la manifestación de este fenómeno es la disminución del rendimiento agrícola y la degradación de uno de los principales recursos naturales básicos para la agricultura.

El fenómeno erosivo no solo se controla con la reforestación de muchos territorios, sino fundamentalmente con un manejo sostenible de los suelos dedicados a los cultivos económicos que permitan lograr una mayor producción con el menor impacto ambiental, siguiendo los fundamentos básicos de la llamada Agricultura Ecológica o Agroecología, en la cual se potencia el manejo integral de los suelos como parte esencial del medio natural en que se desarrollan las plantas, al cual debemos prestar nuestra mayor atención si queremos obtener buenos resultados en la producción agropecuaria.

El diseño de agriculturas biodiversas, resilientes y eficientes puede ser alcanzado a través de un proceso de transformación agroecológica (Somoza *et al.*, 2015), desde sistemas convencionales de producción agrícola, pasando por sistemas productivos que incorporan prácticas sustentables hasta alcanzar ecosistemas productivos desarrollados sobre bases agroecológica.

Las prácticas agrícolas para un adecuado uso y manejo del suelo, que proteja los recursos naturales y evite su degradación, siempre estará relacionada con los principios de la Agroecología, por lo que metodológicamente al realizar técnicamente la explotación de la capacidad productiva del recurso suelo desde un punto de vista agroecológico, debemos hacernos en orden las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los factores edáficos limitantes de la productividad y que causas determinan su manifestación?
2. ¿Qué sistemas de cultivos pueden establecerse de forma óptima de acuerdo a la aptitud del suelo?
3. ¿Cómo realizar el uso y manejo sostenible del suelo?
4. ¿Qué otras prácticas agrícolas para el mejoramiento de la capacidad productiva del suelo se pueden aplicar con resultados económicos, ambientales y sociales?

Para dar respuestas a estas interrogantes se requiere previamente estudiar y conocer las características de la finca o el territorio que se desea utilizar agrícolamente, mediante un estudio minucioso del terreno, su historial productivo, de toda la información disponible sobre los recursos del territorio y el estado actual del medio edáfico, ya que sin esta información resulta imposible dar una respuesta adecuada las anteriores preguntas. El presente trabajo se referirá en general a todas ellas, pero se tratará de forma más amplia lo relativo al uso y manejo sostenible del suelo.

- 1. ¿Cuáles son los factores edáficos limitantes de la productividad y que causas determinan su manifestación?**

Los factores limitantes son aquellos que restringen, limitan o impiden el normal desarrollo y crecimiento de las plantas cultivadas, los cuales son detectados por medio del estudio en

el campo del perfil del suelo, la morfología del terreno y los resultados analíticos de indicadores físicos, químicos y biológicos, pudiendo ser estos factores directos o indirectos.

Los factores limitantes directos son aquellos que juegan un papel esencial en la producción de biomasa, es decir, son aquellos que sin estar relacionados con las propiedades de los suelos pueden impedir que la planta haga un uso adecuado de los elementos esenciales y provoquen trastornos metabólicos que impiden su crecimiento. Estos factores son entre otros: el agua, el aire, la intensidad y duración de la luz solar, la nubosidad y la población de plantas por unidad de área.

Los factores limitantes indirectos se relacionan con las propiedades de los suelos y son los que frenan y/o impiden que el agua, el oxígeno, los elementos nutrientes, etc. lleguen a las plantas en las proporciones y cantidades adecuadas. Estos últimos son los factores limitantes más importantes, ya que el hombre incide mucho en ellos y por tanto podemos lograr un mayor control de sus causas y en buena medida establecer prácticas agrícolas encaminadas a su adecuado uso y mejoramiento.

Las principales limitantes edáficas que podemos evaluar su presencia en el suelo son: elevada acidez, baja fertilidad, salinidad, sodicidad, suelo calcáreo, drenaje deficiente, aireación deficiente, compactación, elevada plasticidad, baja retención hídrica, escasa profundidad efectiva, riesgo de inundación, erosión, relieve, pedregosidad y rocosidad, entre otras.

Muy importante es establecer las posibles causas de la presencia de cualquiera de estas limitantes en el suelo, que generalmente están relacionadas con la manifestación de procesos degradativos de los suelos, ya que muchas de ellas están ocasionadas por causas antrópica, lo cual resulta esencial su conocimiento para lograr el control de los procesos degradativos presentes, minimizando su efecto una vez implementadas las medidas de uso y manejo adecuadas, evitando que vuelvan a manifestarse en el futuro.

Así la determinación de los factores limitantes a nivel de campo constituye una importante actividad para el agrónomo, a fin de poder establecer el correcto uso de los suelos, ya que le posibilita conocer los problemas específicos de cada campo de cultivo, para después decidir su uso más adecuado bajo una estrategia de manejo que permita, junto a su explotación agrícola, desarrollar de forma sostenible su conservación y mejoramiento, evitando la degradación del mismo.

Otro principio esencial en la determinación de las limitantes agroproductivas de un suelo, es determinar cuál de ellas resulta la más preponderante por su intensidad y efectos desfavorables sobre los cultivos y el medio edáfico, ya que cualquier acción de control o mejora que se realice en el suelo “de forma prioritaria”, debe ir encaminada a su eliminación o control, si queremos tener una respuesta positiva en el rendimiento de los cultivos.

2. ¿Qué sistemas de cultivos pueden establecerse de forma óptima de acuerdo a la aptitud del suelo?

Basándose en toda la información cualitativa y cuantitativa recopiladas con relación a las exigencias de suelo de cada uno de los cultivos agrícolas y el efecto restrictivo de cada factor limitante, se establecen las Clasificaciones de Agroproductividad por Cultivos, o sea, la evaluación de la aptitud del cultivo con relación a las características de los suelos que pueden causar limitaciones en el desarrollo del cultivo y por tanto en sus rendimientos potenciales.

En nuestro país, el Ministerio de la Agricultura ha venido perfeccionando los esquemas metodológicos e índices evaluativos de la Clasificación Agroproductiva de los suelos por cultivos, permitiendo así agrupar a los suelos en 4 categorías de acuerdo a un cultivo específico, estas son:

- I** Suelos aptos, sin ningún limitante para el cultivo.
- II** Suelos aptos, con algunas limitantes para el cultivo.
- III** Suelos aptos, con severas limitantes para el cultivo.
- IV** Suelos inapropiados para el cultivo.

Como es de esperar en la medida que el número de la Clase Agroproductiva se incrementa los rendimientos esperados del cultivo seleccionado deben disminuir y se hace necesario un manejo más cuidadoso desde el punto de vista agrotécnico en la utilización del suelo por ese cultivo e incluso la necesidad de aplicar medidas de protección y conservación del suelo, sin poder aspirar alcanzar en dicho suelo el rendimiento potencial del cultivo. De esta forma resulta recomendable la utilización del suelo en los cultivos cuyos niveles de agroproductividad se encuentran en la clase agroproductiva I preferentemente, donde podrá alcanzarse el rendimiento potencial esperado, pudiendo aceptarse su uso también la clase agroproductiva II, con cierta afectación al rendimiento y necesidad de control de algunas limitantes; ya el uso del cultivo en la clase agroproductiva III conlleva un riesgo muy grande desde el punto de vista ambiental y económico, por cuanto necesita un manejo más esmerado y los rendimientos que se puedan obtener se verán limitados, evaluándose de poco productivo.

Este tipo de clasificación agroproductiva nos permite conocer con precisión cuales son las principales limitantes de un suelo para el desarrollo de un determinado cultivo y en cierta medida el grado de preponderancia de cada una de ellas, cosa importante al momento de establecer la estrategia de uso, manejo y mejora de suelo. De esta forma utilizando los mapas y las tablas evaluativas de agroproductividad de suelos por tipo de cultivo, podemos elevar los rendimientos al establecer de forma óptima el uso del suelo sobre la base de sus características.

(Falcon *et al.* 2014) reportó en una UBPC de Mayabeque, el uso con buenos resultados de una metodología de la FAO de evaluación de la aptitud de las tierras, para los tipos de utilización de estas en boniato, papa, frijol, maíz y tomate, a fin de evitar la deficiente explotación de las mismas y que los cultivos que se evalúan ocupen las áreas de mayor aptitud para su establecimiento y desarrollo, detectando los posibles conflictos de usos de dichas tierras y realizando un adecuado ordenamiento en el uso de los suelos.

Un método más sencillo, el de las Clases Agrológicas, es utilizado cuando no se dispone del anterior, se basa en la clasificación de las tierras según su capacidad de uso agrícola, separándolas en clases que permiten dirigir adecuadamente su uso y manejo, sobre la base de la intensidad de manifestación de los factores edáficos limitantes de la productividad de los suelos.

El sistema de Clases Agrológicas fue elaborado por el *Soil Conservation Service* de USA, según el sistema propuesto (*Land Capability Classification*) por Klingebiel y Montgomery en 1961 (FAO, 2000; Eliasson, 2007), se trata de un sistema de evaluación que va buscando la idoneidad de los suelos para usos generales (cultivos en rotación, pastos, frutales y bosques) pero no específicamente para usos concretos de las especies vegetales. Este sistema ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo con numerosas adaptaciones, el cual utiliza criterios cualitativos y algunos cuantitativos para valorar la idoneidad del uso agrícola, basándose principalmente en las limitantes edáficas que restringen la productividad de los suelos. Distintos autores (Dorronsolo, 2005; Gómez, 2013 y Álvarez, 2015), que han promovido este método, han ido ampliando los parámetros evaluativos según sus experiencias y han introducidos algunos criterios cuantitativos, la misma por su sencillez y utilidad revierte una vigencia propia en nuestros días a la hora de establecer el uso del suelo, cuando no disponemos de una clasificación agroproductiva, y se resume a continuación:

	Clases	Uso recomendado	Intensidad de uso
Incremento de las limitaciones del uso del suelo	I	Cultivos en rotación	{ Muy intensa Intensa Moderados Limitados
	II		
	III		
	IV		
	V	Vegetación permanente	{ Intensa Moderada Forestal
	VI		
	VII		
		VIII	Inapropiado

El principio fundamental de las Clases Agrológicas es ubicar los cultivos que ejercen buena protección en las zonas de mayor riesgo a la erosión y los que ejercen menor protección en las áreas más estables, menos susceptibles a la degradación y de mayor capacidad productiva. Así en áreas poco limitadas (Clase I y II) el desarrollo de cultivos en rotación resulta prioritario, ya que la posible degradación que se genere entre otras por el laboreo tiende a resultar sostenible en el tiempo. En las áreas algo más limitadas (Clases III y IV), pero aún laborables, se recomienda el uso menos intensivo de cultivos en rotación con un manejo más riguroso para evitar la degradación y rendimientos esperados más deprimidos. Las áreas de la Clase V son suelos llanos, de difícil laboreo, con manto freático alto, de mal drenaje, salinos y susceptibles a la inundación, que generalmente se dedican al pastoreo y a la producción de arroz. Los suelos de Clase VI y siguientes, no son laborables por varios motivos y de hacerlo se intensifican los procesos degradativos, la clase VI se recomienda su uso en pastos y frutales, con un manejo que combine agricultura-ganadería fundamentalmente, mientras que la clase VII por la intensidad de sus limitantes solo se recomienda para forestales sin intervención animal en pastoreo, para ello se requiere de una buena selección de las especies forestales, que se adapten a las condiciones del lugar que siempre son difíciles. La clase VIII por sus condiciones críticas resulta totalmente inapropiada para la intervención del hombre, ya que cualquier intervención tiende a provocar una fuerte degradación (Álvarez, 2015).

3. ¿Cómo realizar el uso y manejo sostenible del suelo?

El uso indiscriminado de los suelos sin tomar en cuenta su capacidad productiva, el desarrollo del monocultivo, la aplicación de medidas aisladas de protección, el mejoramiento limitado del suelo y la indiscriminada fertilización de los cultivos, no conducen en el tiempo a resultados exitosos desde el punto de vista de la producción agrícola y mucho menos desde el punto de vista del manejo agroecológico si deseamos desarrollar una agricultura sostenible que pueda satisfacer las exigencias crecientes de la humanidad. Para lograr esto último se sugiere la necesidad de establecer un manejo integrado del suelo, que logre buenas producciones con una adecuada explotación y conservación de tan importante recurso natural.

El manejo integrado y sostenible de los suelos es un campo científico muy amplio, en el cual siempre aparecen nuevas prácticas y nunca se deberá encasillar en paquetes tecnológicos premeditados, sino por el contrario tomar muy en cuenta los factores y recursos locales para lograr su implementación en el marco de un sistema de manejo que potencie la elevación de la capacidad productiva del suelo en beneficio de la seguridad alimentaria, evitando la degradación del suelo. La solución de los principales problemas que afectan los suelos agrícolas de Cuba debe ser vista con un enfoque sistémico e integrador y no como una solución aislada, pues se concatenan factores naturales y antrópicos. Por ello un manejo integrado de los suelos (llamado también manejo ecológico o sostenible) resulta de vital importancia para potenciar su capacidad productiva en beneficio del hombre (Funes-Monzote, 2017).

En el establecimiento de un manejo integrado de los suelos, llámese también manejo ecológico o sostenible, metodológicamente deben implementarse prioritariamente, en su orden, los siguientes pasos iniciales:

- 1ro Establecer las medidas para la conservación del suelo y el agua.
- 2do Recuperar y mantener la estructura del suelo y su estabilidad.
- 3ro Recuperar y mantener la capacidad del suelo de suplir nutrientes a las plantas cultivadas.

Siempre los agricultores han desarrollado prácticas agrícolas encaminadas a una mayor protección y uso de los suelos, pero las mismas resultan insuficientes para alcanzar un uso y manejo sostenible de los suelos sobre bases agroecológicas, que permitan la apropiada conservación de los recursos naturales suelo y agua en su transición hacia una agricultura agroecológica, respetuosa de los recursos y servicios ecosistémicos.

Al ordenar prioritariamente las acciones anteriores se tiende con rigurosidad a establecer primero un adecuado uso del suelo protegiéndolo de la degradación, lo cual es preponderante si queremos legar a las generaciones futuras suelos con capacidad productiva suficiente para sostener su alimentación, ya que está evidenciado científicamente (Duran y Acosta 2018), que los niveles actuales de degradación ambiental a nivel mundial resultan comprometedores para el desarrollo de las futuras generaciones humanas.

Analizaremos a continuación principios fundamentales y medidas que pueden utilizarse al acometer cada uno de estos pasos iniciales en el establecimiento del uso y manejo sostenible de los suelos.

1ro Establecer las medidas para la conservación del suelo y el agua.

La conservación del suelo y el agua resultan muy importantes para la sostenibilidad de la producción agrícola, pecuaria y forestal, ya que las mismas dependen de la potencialidad de estos recursos naturales, cuando se degradan los suelos y escasea o utiliza mal el agua, la producción de alimentos para los humanos y animales se deprime. Para revertir esta situación se aplican muchas técnicas que por sí solas no resuelven el problema, sino en su aplicación conjugada acorde a las exigencias propias del medio agrícola, desde el punto de vista productivo, ambiental, económico y social, donde los principios del manejo agroecológico de las fincas o unidades de producción adquieren una singular importancia en su aplicación.

Entre otras, se promueve en la conservación del suelo y el agua el desarrollo de las siguientes medidas:

- Adecuada distribución de cultivos
- Asociación y rotación de los cultivos.
- Prohibición de quemas.
- Uso de coberturas vivas y abonos verdes.
- Uso de coberturas muertas (mulch).
- Uso de labranzas conservacionistas.
- Siembra en curvas de nivel.
- Cultivos en fajas.
- Barreras vivas.
- Construcción de terrazas.
- Contención de la velocidad de las aguas en las líneas de desagüe.

Adecuada distribución de los cultivos

Es una de las medidas más elementales al considerar llevar a cabo un manejo agroecológico de suelos, se refiere al estudio de los factores limitantes edáficos en relación con las exigencias de los cultivos y sus niveles de tolerancia a la presencia de determinadas cualidades dadas fundamentalmente por sus propiedades físicas y químicas, en fin, el uso de suelos según su vocación se consigue a través de los estudios de factores limitantes y por tanto el uso de la clasificación agroproductiva general y particular para los cultivos. (Socorro y Parets, 2000)

Cuando se cuenta con mapas de agroproductividad por cultivos se puede dirigir el uso de los suelos de forma mucho más eficiente y confiable, sin necesidad de acudir a la Clasificación Agrológica, ya que han sido tomados en cuenta las exigencias propias de cada una de las especies a cultivar, de lo contrario al no existir mapas de agroproductividad por cultivos, los mapas de uso de suelos basados en las clases agrológicas constituyen una guía básica para dirigir el uso del suelo, tomando en consideración prioritariamente su protección a la erosión y el resto de las limitantes agroproductivas.

Al referirse a la aptitud de uso de los suelos se afirma que “debe respetarse la vocación y clasificación agrológica de suelos al momento de elegir no solo el tipo de cultivo más adecuado sino el tipo de arreglo espacial, las distancias de siembra, el tipo de trazo, la

necesidad de sombrío, de barreras de árboles para amarre del terreno o de barreras rompevientos” (Gómez, 2013)

En resumen, una práctica agrícola esencial para el manejo sostenible de los suelos es la adecuada distribución de los cultivos en el territorio productivo que se disponga, es decir, utilizar los suelos acorde a su aptitud, ya que constituye la base primordial de alcanzar buenos rendimientos sin degradar el medio edáfico, independientemente de las medidas de manejo que se realicen con posterioridad.

Asociación y rotación de cultivos.

La rotación de cultivo constituye la sucesión de cultivos dentro de la misma parcela durante un número determinado de años, al cabo de los cuales se repiten de nuevo los cultivos en el mismo orden. La alternativa en una rotación, es la división de la tierra cultivada en parcelas, dedicadas cada una de las mismas a un cultivo diferente de la rotación elegida. La alternativa ideal, por sencillez de manejo, es aquella que consta de tantas parcelas como años tiene la rotación.

Las asociaciones de diferentes especies de cultivos sobre los campos representan una práctica agrícola muy importante ya que proporciona ciertas ventajas como son:

- La tierra, el espacio y el agua siempre son mejor utilizados que en los monocultivos.
- Proporciona cobertura al suelo, mejorando el uso del agua y el control de la erosión.
- La incidencia de problemas sanitarios son menores.
- Hay menos problemas de plantas indeseables, al quedar el suelo rápidamente cubierto.
- Las producciones son siempre mayores y diversificadas.

La asociación de cultivo tan solo plantea problemas de índole funcional y práctico, donde se requiere experiencia y dedicación por el agricultor, la más practicada desde la antigüedad son las de gramíneas y leguminosas, pero son posibles otras que combinan plantas de crecimiento lento con otras de crecimiento rápido, plantas rastreras con plantas erguidas o plantas que ejercen mutuo beneficio, empleándose mucho en cultivos hortícolas.

Estas son prácticas muy antiguas que se oponen al efecto de los monocultivos, los cuales favorecen disminuir la fertilidad, acelerar la erosión y hasta provocar otros procesos degradativos en algunas regiones.

Los efectos beneficiosos de la rotación de cultivos se manifiestan al permitir tener los campos siempre cubiertos, mejorar el balance del intercambio gaseoso del suelo, lograr un mejor aprovechamiento del agua y de los fertilizantes, lo que significa mantener un

reciclaje de elementos nutritivos más eficiente e incrementar la actividad biológica, protegiendo a los suelos de la erosión. Los efectos beneficiosos de esta práctica dependerán en gran medida de la selección de las plantas que se van a rotar o asociar y de la secuencia que se siga en su siembra.

Esta práctica es aplicable en las Clases Agrológicas: I, II, III y de forma más limitada en la IV, siendo muy importante la selección de las plantas a emplear en la rotación, pudiéndolas dividir en:

- Cultivos anuales limpios – (maíz, papa, tabaco, hortalizas)
- Cultivos anuales densos – (calabaza, boniato, pepino, melón)
- Cultivos de larga duración que requieren labores culturales moderadas – (caña de azúcar, plátano)
- Cultivos perennes – (pastos, forrajes, frutales.)
- Cultivos forestales – (bosques maderables o energéticos)

Las rotaciones se planifican para un número de años, usualmente se diseñan de 2-6 años, aumentándose el número de años a medida que se incrementa la clase agrológica, dada la necesidad de introducción de cultivos de ciclo más largo.

Los principales requisitos que debe cumplir una buena rotación se relacionan en que los cultivos que se suceden deben tener:

- Exigencias nutricionales diferentes, debiendo incluir leguminosas.
- No son atacados por las mismas plagas y enfermedades.
- Deben ofrecer diferentes grados de protección al suelo.
- Debe intensificarse el uso de cultivos densos en la medida que los problemas de erosión se agudicen.
- Debe procurarse que el terreno permanezca la mayor parte del tiempo con vegetación, sobre todo en periodo lluvioso, por lo cual debe ser breve el tiempo de salida y entrada de los cultivos.

El manejo agroecológico de suelos y de la nutrición vegetal (Socorro *et al.*, 2004) se benefician de la rotación y asociación de cultivos a través de:

1. Incorporación de vegetación de apoyo como cobertura y abonos verdes. Diferentes cultivos aportan biomasa aprovechable en función del otro cultivo y de la mejora de la

fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno e incorporación de los nutrientes de la materia orgánica.

2. Exploración del perfil del suelo por raíces de diferentes profundidades. El aprovechamiento del espacio vital de desarrollo de las plantas con diferentes sistemas de raíces, permite utilizar los nutrientes distribuidos en todo el perfil. Los cultivos con raíces más profundas recuperan y reciclan nutrientes al llevarlos a la superficie, haciéndolos disponibles para los cultivos de desarrollo de raíces superficiales.
3. Utilización diferencial de los nutrientes y la humedad. Las distintas necesidades de nutrientes en cantidad y momento pueden favorecer mutuamente a los cultivos de la asociación.
4. Producción y movilización de nutrientes en función del cultivo acompañante o sucesor. En el caso de las asociaciones y rotaciones con leguminosas, éstas aportan nitrógeno al medio para su uso por los demás cultivos. Diferentes especies vegetales hacen movilizar nutrientes en cantidades que pueden ser aprovechados por los cultivos sucesores.
5. Incremento en la diversidad biológica del suelo. La diversidad de especies vegetales favorece la diversidad de los microorganismos del suelo, dadas las distintas interrelaciones que suceden en las rizosferas de las mismas atendiendo a los procesos bioquímicos que tienen lugar.

En resumen, la importancia de la rotación de cultivos y sus asociaciones radica en que mantienen la productividad del agroecosistema, sistematizan el trabajo agrícola haciéndolo más técnico, ahorran labores, ayudan a controlar las plantas indeseables, plagas y enfermedades, logrando en definitiva el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la reducción de sus pérdidas por erosión. Por lo anterior, la diversificación de los cultivos es una importante estrategia de adaptación y reducción de la vulnerabilidad, en el contexto de un aumento de la variabilidad y las condiciones extremas del clima, pueden incrementar la resiliencia del sistema productivo y ayudar a atenuar el riesgo, incrementando la productividad y estabilizar los ingresos de los agricultores, mejorando la seguridad alimentaria (FAO *et al.*, 2018).

Prohibición de quemas.

Los incendios son el enemigo más importante de las plantaciones forestales, ya que no solo destruye la madera, sino toda la fauna y flora que alberga y las construcciones aledañas. Luego de un incendio, la sucesión vegetal es siempre de menor valor que el bosque original y el nivel freático se afecta sobre todo cuando el siniestro ocurre en cuencas hidrográficas y líneas divisorias. Se estima que el 94% de los incendios son originados por quemas con fines agrícolas, por descuido y vandalismo y un 6% por causas naturales como descargas eléctricas, radiación solar, vulcanismo o combustión natural de gases. Las quemas

controladas con fines agrícolas de preparación de terreno o para la cosecha de caña o eliminación de desechos, no se consideran incendios forestales, sin embargo, deben ser evitadas y controladas, ya que todo tipo de fuego de la cobertura vegetal más o menos intenso trae consigo: pérdida de la flora y la fauna (deprime la biodiversidad), la desaparición de la vegetación altera el ciclo hidrológico, disminuyendo la visibilidad por efecto del humo y las cenizas, sobrecalentamiento del aire, emisión de CO₂, afectación a la capa de ozono (Gómez, 2013).

En la prevención de los incendios forestales se proponen algunas medidas, tales como: podas contra incendios, quemas controladas, fajas quemadas en las orillas de los caminos, barreras contra incendios, fajas anti fuegos y patrullas contra incendios.

En una agricultura ecológica o sostenible queda prohibido el uso del fuego como sistema para eliminar los residuos de cosechas o la vegetación que cubre los suelos, ya que esta práctica es muy dañina sobre todo cuando se sistematiza, disminuyendo el contenido de materia orgánica que ingresa anualmente al suelo, reduciendo la actividad biológica, favoreciendo la compactación y fundamentalmente hace más susceptible el suelo a la erosión. La prevención de los fuegos accidentales y el establecimiento de barreras corta fuegos en regiones susceptibles constituyen medidas muy importantes en la protección de los suelos y el medio ambiente. Cuando los incendios se produzcan natural o accidentalmente, deben adoptarse medidas para reducir al mínimo la erosión y fomentar rápidamente, en la medida de lo posible, el restablecimiento de la vegetación tras este fenómeno (FAO 2017b).

Uso de coberturas vivas y abonos verdes.

La cobertura vegetal es muy importante para los suelos tropicales y sobre todo las coberturas vivas, ya que ejercen una acción protectora de la superficie del suelo al impacto de las lluvias, pero al mismo tiempo están incrementando la biomasa, movilizándolo y reciclando nutrientes en el suelo, fijando nitrógeno en algunos casos e interactuando de forma positiva con las propiedades químicas, físicas y la actividad biológica del suelo.

Las plantas utilizadas como cobertura o abonos verdes pertenecen fundamentalmente a las familias de las leguminosas, crucíferas y gramíneas, siendo la primera la más utilizada por su capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y elevar su contenido en el suelo, las mismas nunca son sembradas con el objetivo de cosecharlas y obtener beneficio económico directo de ellas. Su objetivo es el de llenar un vacío en el tiempo cuando el suelo permanece desnudo, bien sea mientras el cultivo principal se establece, simplemente en surcos o calles que, de no ser utilizados, serían invadidos por las malezas, siendo utilizados como policultivos en muchas ocasiones. Los cultivos de cobertura tienen la función de proteger el suelo de la lluvia, evitando la erosión, mejorar la fertilidad (fijación de nitrógeno y reciclaje de nutrientes), mejorar la estructura del suelo por efecto de las raíces y suprimir plagas, incluyendo malezas, insectos y patógenos al cortar ciclos de vida y al proveer un nicho para el establecimiento de controladores naturales. (Gómez, 2013).

Dentro de una adecuada rotación de cultivos se considera incluir normalmente las plantas de cobertura o abonos verdes, que no son más que plantas herbáceas de crecimiento rápido que producen en poco tiempo un buen volumen de biomasa que cubre una parte o todo el suelo, las cuales se cortan, dejándolas como arroje en la superficie (cobertura muerta) o fundamentalmente se entierran en el mismo lugar donde han crecido, constituyendo así un abono verde.

Los abonos verdes generalmente no tienden a incrementar tanto el contenido de humus del suelo, ya que se trata de materiales poco o nada lignificados y generalmente ricos en nitrógeno, por lo que no reemplazan por completo las necesidades de aplicación secundaria de materia orgánica al suelo, sin embargo incrementan notablemente la actividad biológica del suelo y sus condiciones estructurales, mejora la penetración del agua y su retención por el suelo, incrementan el nivel de nitrógeno del suelo por fijación biológica con las leguminosas, mejoran la fertilidad, protegen el suelo de la lluvia y el viento, suprimen plagas, incluyendo malezas, insectos y patógenos al cortar sus ciclos de vida y al proveer un nicho para el establecimiento de controladores naturales y facilitan la recuperación de nutrientes que se encuentran en profundidad, por medio del reciclaje, disminuyendo las pérdidas por lavado, entre otras acciones positivas, que repercuten en el incremento de los rendimientos de los cultivos lo cual compensa económicamente los gastos efectuados por su utilización. No obstante, aún se aprovecha muy poco el potencial que brindan los abonos verdes, que pueden mejorar la fertilidad de los suelos, entre otros servicios ecológicos, a partir del cultivo de plantas como macuna o frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*), canavalia (*Canavalia ensiformis*), dolichos (*Lablab purpureus*), crotalarias (*Crotalaria sp.*) y sesbania (*Sesbania emerus*), entre otros, cuando se incorporan de forma eficiente en el sistema de rotación de los cultivos (Funes, 2017).

Por otra parte, se debe destacar que las coberturas permanentes arbustivas, que no son plantas de cobertura o abonos verdes, ejercen una amplia protección a los suelos, en presencia de cobertura arbórea, solo un 6% del agua lluvia fluye por escorrentía en la superficie, disminuyendo la erosión y un 56% ingresa al perfil de suelo y es aprovechada por los cultivos asociados, el 38% del agua de lluvia restante es interceptada por la vegetación, mientras que en ausencia de árboles solo un 38% del agua lluvia se infiltra y el 62% escurre por la superficie favoreciendo los procesos erosivos (Gómez, 2013), por lo cual resulta imprescindible su implementación cuando necesitamos controlar la erosión en suelos susceptibles a la misma.

Uso de coberturas muertas (mulch o arroje orgánico).

Una pobre cobertura de la superficie del suelo expone los agregados más superficiales a la acción de las lluvias; como consecuencia ocurre el colapso o degradación estructural de estos agregados, formándose costras superficiales con un espesor medio de uno a tres milímetros, que reducen drásticamente la infiltración del agua en el suelo.

La cantidad y porcentaje de cobertura vegetal del suelo tiene una acción protectora por la interceptación y absorción del impacto directo de las gotas de lluvia, evitando así el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma (Puente 2015). De esa manera, la infiltración de agua puede ser mantenida a lo largo de la lluvia, al conservarse la macroporosidad superficial, dando más tiempo al agua para su absorción, disminuyendo el volumen y la velocidad de la escorrentía, en fin, su capacidad de transporte erosivo. Al mismo tiempo que penetra más agua en el suelo, la cobertura disminuye las pérdidas de agua por evaporación en la superficie del suelo y regula la elevación de la temperatura durante el día (FAO y GTIS, 2015).

El rastrojo previene la erosión e intercepta la lluvia, dando más tiempo al agua para su absorción, además de reducir la pérdida de agua por evaporación, debido a que disminuye la temperatura de la tierra; así los cultivos disponen de una mayor cantidad de agua, lo que permite a las plantas seguir creciendo en los periodos cortos de sequía.

El dejar los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo puede prevenir la erosión y hacer más sustentable la producción en suelos de difícil manejo; además, la magnitud de estos efectos depende de la calidad de los residuos y de su cantidad. Los residuos de cosecha dejados o colocados sobre la superficie del suelo, en sentido transversal al declive del terreno, constituyen también una práctica sencilla de protección de los suelos a la erosión hídrica (FAO, 2017b).

En resumen, la cobertura vegetal muerta ofrece varias ventajas para el suelo (Gómez, 2013):

- Permite obtener una elevada diversidad y actividad biológica, incrementando la bioestructura del suelo.
- Impide la erosión del suelo, al mantenerlo cubierto con vegetación.
- Mejora la estructura del suelo y la estabilidad estructural una vez que se descompone y se integra al humus del suelo.
- Favorece el control de la temperatura y la humedad.

En general las coberturas vivas de ciclo corto no reducen la erosión tan eficientemente como lo hacen los residuos de cosecha mantenidos en contacto directo con la superficie del suelo. Por eso, la utilización de los residuos de cosecha como cobertura, es la manera más eficiente, simple y económica del control de la erosión y mejorar la eficiencia del uso del agua en los climas tropicales, sin descuidar la necesidad de mantener siempre una cobertura viva, para evitar la superficie descubierta de los suelos.

Uso de labranzas conservacionistas.

Los sistemas de labranza y de manejo de los cultivos, tienen una influencia importante en las propiedades físicas del suelo. La realización de una labranza incorrecta, de carácter intensivo, es una de las principales causas de la erosión y degradación física del suelo, según el Centro de Estudios Paraguayos “Antonio Guasch” (CEPAG, 2016)

La degradación física está muy relacionada con la pérdida de la calidad y la estabilidad de su estructura. La labranza del suelo tiende a ocasionar la pérdida de la materia orgánica, lo que trae como consecuencia el aumento de la densidad aparente, disminuye la capacidad de retención de agua y la estabilidad de los agregados, disminuyendo también las tasas de infiltración de agua, favoreciendo el incremento de la escorrentía superficial y la erosión, estos últimos se aceleran cuando la aradura se realiza en suelos con cierto grado de pendiente (Gómez, 2013). Esa degradación de la estructura puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo de ella, donde surgen capas compactas, como son los pisos de arado.

La labranza convencional se caracteriza por realizar operaciones de labores primarias y secundarias en la preparación del suelo para la siembra, con el uso del arado de discos o vertedera en la labranza primaria, invirtiendo el prisma de suelo, seguida por la labranza secundaria con el uso de la grada de discos fundamentalmente, con la finalidad de pulverizar la capa superior del suelo, sin dejar prácticamente residuos en la superficie al incorporar los mismos (De Freitas, 2000). De esta forma la excesiva labranza y/o la labranza realizada con humedad inadecuada (fuera de tempero), lleva a la rotura excesiva de los agregados, favoreciendo la formación de costras, el incremento del escurrimiento del agua y la erosión de las partículas. También la reducción de la rugosidad superficial provocada por las gradas durante la labranza, induce a la disminución de la infiltración del agua y la elevación de la velocidad del escurrimiento, por la formación más rápida de la costra superficial, con el consiguiente aumento de la erosión, dado a la acción golpeante de las lluvias y a la mayor fuerza erosiva del agua que escurre por la superficie del suelo.

Ha quedado demostrado que el laboreo excesivo e intensivo destruye la estructura del suelo al romper los agregados del mismo, reducir el contenido de materia orgánica y la macroporosidad, e interrumpir las correspondientes funciones del suelo de humedad e infiltración, retención y liberación de nutrientes (FAO, 2016). A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el tránsito de maquinaria sobre el suelo cuando éste se encuentra húmedo, lleva al surgimiento de capas compactadas subsuperficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad.

Ejemplos de regiones de Cataluña y Zaragoza en España (Porta y Porch, 2009), donde las labores con tractores de gran potencia y la utilización de arados de vertedera han permitido aumentar la profundidad de laboreo, pero al no haber tenido en cuenta el hecho que el suelo es una organización edáfica con distintos horizontes (los de superficie con características muy diferentes a las de los horizontes subsuperficiales), se provocó, en algunos casos, el

deterioro del suelo con la mezcla de los horizontes, cosa que no sucede cuando se utilizan aperos de tracción animal, cuyo impacto resulta más sostenible.

Hace unas tres décadas que tomó auge en los Estados Unidos los conceptos de la labranza de conservación, la cual se considera cualquier sistema de labranza y siembra que reduzca la pérdida de suelo y agua, en comparación con labranza convencional, y que deje el suelo cubierto en más de un 30% por los residuos de la cosecha anterior.

La labranza de conservación ha ganado importancia a escala mundial en las últimas décadas, como un medio para proteger los recursos naturales y recuperar aquellos que han sido degradados, principalmente por su beneficio en la conservación del suelo y el agua. Por esta razón, se empezó a experimentar con métodos de labranza poco profunda sin invertir el prisma, después la labranza mínima y por último con la siembra directa (no laboreo), todas ellas con buenos resultados y amplia adopción en algunos países.

En la América (FAO, 2016), se destacan en la implementación de la cero labranza los Estados Unidos, Brasil, Argentina y Canadá, fundamentalmente en el cultivo de cereales y granos, con un área total de 19,3; 11,2; 7,3 y 4 millones de hectáreas respectivamente, permitiendo aumentar en más de un 7% el rendimiento medio y facilitar a los agricultores ahorrar hasta 30 días de mano de obra. De esta forma una serie de buenas prácticas agrícolas promueven la salud del suelo, mejoran su fertilidad y favorecen la productividad agrícola y la sostenibilidad a largo plazo, como son: la aplicación prudente de fertilizantes minerales y orgánicos, el empleo de prácticas de la agricultura de conservación, incluidos el cultivo sin labranza y el uso de cubierta vegetal de residuos agrícolas y cultivos de cobertura o abonos verdes.

Existen diferentes formas de realizar las labranzas conservacionistas, donde las labores deben cumplir entre otros, los siguientes principios:

- no pueden invertir el prisma.
- mínimo número de labores.
- mínima perturbación de la estructura del suelo.
- mínimo de profundidad necesaria.
- estricto control del tráfico de equipos sobre el campo.

De estos sistemas conservacionistas a modo de comparación nos referiremos brevemente a la no labranza, la labranza localizada y la labranza mínima.

La no labranza (*cero tillage*), que actualmente lo promueve la FAO en nuestro país con el término “Agricultura de Conservación” (Puente, 2015), es un sistema que contribuye a

lograr el objetivo de tener una agricultura sostenible que sea económicamente viable, socialmente más justa y que permita la conservación de los recursos naturales. Es un método que no requiere ninguna preparación de la cama de siembra, con excepción de la aplicación si fuera necesario de herbicidas totales (post emergentes), la posible realización de una chapea de los residuos a unos 5 - 10 cm. de altura o el rulado de la cobertura para picar y acostar los residuos, posteriormente con una maquina sembradora de doble disco, que es más eficaz para la siembra sobre rastrojo, sin problemas de obstrucción, se abre el suelo y se colocan las semillas a la profundidad deseada, también se puede combinar al mismo tiempo con la fertilización química localizada, quedando una huella del hilo de siembra y el resto del área cubierto por los residuos de cosecha.

En resumen, (FAO, 2004 citado por Gómez, 2013), “el sistema de labranza cero o no labranza se basa en el uso de los residuos de los cultivos para la cobertura de la superficie, la siembra de la semilla sobre la cama de residuos sin disturbar el suelo y en el mejoramiento de los ciclos naturales en el suelo. Con el correr del tiempo, los elementos vivos del suelo hacen las funciones de la labranza tradicional, aflojando el suelo y mezclando sus componentes. Pero además de esto, el incremento de la actividad biológica crea una estructura estable en el suelo por medio de la acumulación de materia orgánica”.

La labranza localizada o en fajas (*strip tillage*): Es un método para la preparación de la cama de siembra, similar al anterior, donde solo se labora una faja de aproximadamente 20–40 cm. de ancho y generalmente de 5 a 10 cm. de profundidad o más profundo (20-30 cm.) de acuerdo al cultivo a plantar, usando el arado de cincel. Fuera de las fajas laboradas, queda el suelo y los residuos sin perturbar por la labranza o limpieza mecánica, donde la zona de intervención en el surco de plantación resulta más ancha en comparación con la labranza cero. Este sistema se considera labranza de conservación si se deja un mínimo de 30% de la superficie con cobertura. Este tipo de labranza conservacionista se tiende a emplear en cultivos donde se plantan semillas agámicas, por ejemplo, la yuca (*Manihot esculenta*).

La labranza mínima o de protección (*mulch tillage*): Consiste en la preparación de la cama de siembra de forma poco invasiva en todo el campo, laborándose superficialmente, de tal forma que el movimiento mecánico del suelo se limita a los primeros 10 centímetros de profundidad, incorporando mínimamente los residuos que existan, excluyendo la aradura, restringiéndose al uso del tiller o escarificador, facilitando el control de malezas (Puente, 2015), tratando de mantener la mayor cantidad de residuos sobre la superficie y minimizando la finura de los agregados en la superficie del suelo. Generalmente se realiza inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior y es considerado como labranza de conservación si mantiene un mínimo del 30% de la superficie con cobertura vegetal después de la siembra. Para conseguir esto las labores que se realicen serán las mínimas necesarias, que no inviertan el prisma ni pulvericen la superficie del suelo, empleándose como implementos preferiblemente escarificadores profundos y el tiller o la grada de dientes fijos o flexibles.

Es obvio que una labranza de conservación bien hecha tiene un gran potencial para reducir la erosión y disminuir las pérdidas de agua por escorrentía. Sin embargo, no se debe olvidar que el uso excesivo de herbicidas en estos sistemas de no laboreo tiende a crear problemas ambientales, cuya reiteración en el tiempo afecta la sostenibilidad del sistema, por lo cual debe minimizarse el uso del mismo y se requiere también de paciencia e interés del productor para adaptarse a la implementación de esta tecnología, la cual ha sido exitosa, una vez estabilizado el sistema, en muchas regiones del mundo en la producción de granos.

Por lo tanto, no es suficiente solo mantener el suelo cubierto y usar sistemas de labranza que causen el mínimo disturbio del suelo. La siembra directa ha llegado a ser considerada como un sistema y no solo como un método de preparación de la tierra. Para que el sistema sea exitoso es necesario introducir rotaciones de cultivos, mediante el uso dentro del área de una secuencia de diferentes especies en el tiempo y en el espacio, ya que constituye la base para la sostenibilidad de los sistemas de siembra directa, sin olvidar el empleo de los cultivos de cobertura o abonos verdes, las coberturas de residuos de cosecha y la aplicación de abonos orgánicos (De Freitas, 2000).

Las principales ventajas ambientales de las labranzas de conservación serán la conservación del suelo y el agua, así como en el ahorro de tiempo y energía durante la preparación del suelo, un mínimo uso de maquinaria y gastos en combustibles, haciéndola más económica. Sin embargo, en muchos suelos y cultivos el uso de este sistema de labranza no ofrece garantía de funcionar de forma superior a la tradicional, por lo cual su introducción debe realizarse con esmero y técnica, con los implementos necesarios, hasta alcanzar la experiencia necesaria por los productores en su implementación y manejo. Recordando que estos sistemas de labranzas generalmente no son recomendados para suelos con problemas de compactación, mal drenaje o fuertemente enmalezados. (Gómez, 2013).

Siembra en contorno (curvas de nivel).

Consiste en disponer los surcos en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas de nivel. Esta práctica resulta muy importante para la conservación del suelo y el agua en campos de buen drenaje interno con pendientes de 4 - 12%, de forma óptima para cultivos en rotación, también se emplean para establecer cultivos permanentes en suelos con pendientes fuertes, generalmente árboles en terracetas individuales o en surcos, pero su uso más generalizado e importante es para el cultivo en hileras, el trazo de esta forma permite formar terrazas que cumplen la función de disipadores de energía del agua de escorrentía.

Las siembras en contorno no son recomendables en regiones de fuertes precipitaciones y en los terrenos que posean poca permeabilidad, en este caso los surcos deben tener caída de 0.3-0.8% hacia causes protegidos o naturales.

Se estima que estos sistemas pueden llegar a reducir la erosión en un 50% como mínimo (Gómez, 2013), ya que facilitan que un mayor por ciento de la lluvia penetre en el suelo,

disminuyendo el volumen de la escorrentía y su velocidad. Por otra parte, se aprovechan más las lluvias para el desarrollo de los cultivos, mejorando así la eficiencia en el uso del agua en los períodos poco lluviosos.

Cultivos en Fajas.

Existen varias modalidades de los cultivos en fajas, la más importante por su uso son los cultivos en fajas en contorno, donde las fajas se disponen en curvas de nivel, utilizándose fundamentalmente en pendientes uniformes. Las otras modalidades son:

Cultivos en fajas de campo: en el mismo las fajas se disponen de forma transversal a la máxima pendiente del terreno, sin seguir necesariamente las curvas de nivel, se utilizan fundamentalmente en suelos con pendientes irregulares.

Cultivos en fajas de contención: Se emplean en las laderas de las lomas y consiste en dejar fajas irregulares de pastos naturales transversales a la máxima pendiente del terreno, sin seguir exactamente las curvas de nivel, entre las cuales se siembran fajas de cultivos densos de larga duración, constituyendo esta una faja protectora a la erosión hídrica.

Cultivos en fajas contra el viento: Son fajas irregulares de cultivos de porte alto que se disponen de forma transversal a la máxima dirección de los vientos, constituyendo una faja protectora a la erosión eólica.

Los cultivos en fajas en contorno son los más generalizados y constituyen sistemas agronómicos que consisten en el establecimiento de fajas alternas de dos o más cultivos, de anchura variable, con plantas de escarda (cultivos limpios) y cultivos densos, los cuales siguen un programa de rotación, se emplea en pendientes del 5 – 15% y no constituye una práctica simple, sino una combinación de varias practicas simultaneas, tales como:

- Siembra un contorno
- Rotación y asociación de cultivos
- Cultivos de cobertura.
- Manejo de los residuos de cosecha (mulch).

Como practica conservacionista es más compleja que los cultivos en contorno, pero es mucho más eficiente, por la protección que brinda al suelo y al mantenimiento de la fertilidad y capacidad productiva del mismo, ya que sobre el campo al mismo tiempo vamos a tener fajas de cultivos que brindan menos protección (limpios) o más protección (densos) que se rotan entre sí.

Barreras vivas.

Por lo general las barreras vivas se utilizan en pendientes pronunciadas en los bordes de las fajas en contorno, a fin de que sirvan para retener los sedimentos que son arrastrados desde los surcos superiores.

Se utilizan especies de rápido macollamiento, capaces de formar una barrera compacta, como el limoncillo (*Cymbopogon citratus*), vetiver (*Vetiveria zizanoides*), caña santa (*Costus spicatus*), y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). También con menor frecuencia se ha utilizado la piña (*Ananas comosus* L.), sábila (*Aloe vera* L.), gandúl (*Cajanus cajan*), piña de ratón (*Bromelia pinguin* L.), cordobán (*Clidemia hirta*) y sagú (*Maranta arundinacea* L.).

Conforme más empinado es el terreno, mayor cantidad de barreras será necesario instalar, el ancho de cada barrera suele ser 0,5 m y en ella se siembran las plantas a tres bolillo o en doble hilera.

Claramente se observa como las menores pérdidas de suelo, materia orgánica y nutrientes, ocurre con el uso de barreras vivas en siembras de contorno y plantaciones de frutales o forestales en suelos con pendientes (Gómez, 2013), también se destaca el incremento de la biomasa microbiana, la materia orgánica, la actividad microbiana del suelo (tasa de respiración heterotrófica) en las parcelas con barreras vivas con relación al testigo, reportadas por Azero *et al.* (2016), destacando el papel de los microorganismos para incentivar los procesos y funciones esenciales del suelo, como la liberación de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la construcción de bioestructura y la degradación de contaminantes.

Construcción de Terrazas.

Cuando resulta elevada la susceptibilidad de suelo a la erosión hídrica, los métodos culturales y agronómicos para el control de la erosión, como son entre otros, los cultivos en contorno y en fajas, no brindan suficiente protección a la acción de la escorrentía superficial, por lo cual se requiere disminuir el volumen y la velocidad de dichas aguas.

A fin de disciplinar la escorrentía se construye sobre el terreno estructuras capaces de conducir las aguas en exceso, dentro de las mismas tenemos los canales y las terrazas, estas últimas se diferencian de las primeras en que los taludes tienden a ser menos inclinados, más anchos y generalmente pueden ser cultivados y atravesados por las maquinarias. Por otra parte, en zonas con pendientes pronunciadas las terrazas cumplen la función de proveer un área firme para la siembra y de recoger el agua lluvia de manera que parte se infiltre y el sobrante pueda ser canalizado hasta un desagüe seguro. Así se asegura la conservación de las laderas y permite realizar en ellas cultivos limpios, siendo el inconveniente básico de esta práctica el alto costo de su establecimiento. (Gómez, 2013)

Estas prácticas solo se realizan cuando se justifica su ejecución por necesidades productivas, ya que son costosas y requieren de mantenimiento, así como un mayor nivel técnico en su diseño y construcción.

Existen diferentes tipos de terrazas, utilizadas para la protección del suelo a la erosión hídrica y para facilitar la absorción del agua por el suelo en áreas de escasa pluviometría, las más utilizadas se clasifican así:

a) Clasificación según la condición de escurrimiento:

- Terrazas a nivel: Se emplean para almacenar agua de lluvia, en áreas de precipitación media o baja y suelos profundos de buena permeabilidad.
- Terrazas con declive: Se emplean para el control de la erosión, en áreas de precipitación abundante, con fuertes escorrentías.

b) Clasificación según su sección transversal:

- Terrazas de base ancha: Se labora y cultiva toda la superficie de las terrazas al igual que el resto del terreno. Optimo en terrenos con pendientes menores del 12% y de topografía poco accidentada.
- Terrazas de bancos o bancales: Sistema continuo de terrazas en escalones, para pendientes pronunciadas (20-50%), se puede construir con talud en contrapendiente o casi planos con muros de piedras y a nivel o en declive longitudinal hacia un desagüe.
- Terrazas de bancos alternos: El sistema no es continuo, los bancales se construyen con estructura similar a los anteriores, espaciados por una faja de terreno natural no alterada, empleándose fundamentalmente en pendientes del 15 – 60%.

c) Clasificación de acuerdo al tipo de desagüe:

- Terrazas con desagües hacia un cauce natural o un cauce empastado.
- Terrazas con desagües hacia un sistema subsuperficial.
- Terrazas de absorción. (sin desagüe, para climas secos)

De las dos primeras, el sistema de desagüe más comúnmente utilizado es el primero por su facilidad de construcción y bajo costo.

Contención de la velocidad de las aguas en las líneas de desagüe.

Las corrientes fluviales activas, los cauces secos, las cañadas y las líneas de escurrimiento del terreno, deben estar debidamente protegidas de la erosión en sus cauces y márgenes. No

deben estar obstaculizados en su total capacidad de conducción de la escorrentía, para evitar los desbordamientos ante pequeñas avenidas y los daños por erosión, sedimentación e inundación que pueden ocasionar estas cuencas naturales cuando no se mantienen de forma adecuada.

El control de la velocidad de las aguas en las líneas de desagüe se ejecuta fundamentalmente en las zonas con pendientes mediante tranques de piedras o con troncos y ramas de árboles que se colocan de forma transversal en el fondo de los cauces a cierta distancia unos de otros, a fin de que el agua que conduce pierda velocidad y se libere de sedimentos.

La capacidad de estas corrientes fluviales debe protegerse también de la sedimentación de aluviones en el fondo de las mismas, estableciendo zonas tampón a lo largo de los cursos de agua y franjas de protección, mediante el establecimiento de fajas reguladoras de vegetación arbustiva y herbácea en ambas márgenes, que recojan los sedimentos, para reducir al mínimo la exportación de partículas del suelo y los nutrientes. (FAO, 2017b)

Todas las anteriores acciones relativas al manejo de las corrientes superficiales son importantes si se realizan tomando en consideración toda la cuenca hidrográfica, ya que, de lo contrario, el manejo protector solo de una zona de una cuenca puede traer consecuencias negativas aguas abajo o verse afectado por los problemas que sucedan aguas arriba.

2do Recuperar y mantener la Estructura del Suelo y su Estabilidad.

La estructura del suelo representa el estado de agregación de las partículas, las cuales se disponen unas con relación a las otras para formar gránulos, grumos y terrones. Con ello se reorganiza la geometría del espacio poroso del suelo y su continuidad hacia formas y volúmenes que propician un mejor balance entre los macro y microporos del suelo, es decir, en la medida que un suelo arcilloso se estructura van apareciendo más macroporos y generalmente de mayor tamaño que condicionan una mayor aireación y drenaje interno en el perfil, permitiendo así un mejor balance de la relación agua-aire del mismo en comparación a la microporosidad que de forma particular nos brinda la textura arcillosa del suelo por sí sola, sin estar bien estructurado.

Es necesario reconocer que el espacio poroso del suelo acorde a su forma, tamaño y distribución en el perfil determinará el comportamiento del balance del agua, el régimen hídrico del suelo con relación a las plantas, la relación agua/aire, además del desarrollo y crecimiento de las raíces. A su vez este espacio poroso se verá afectado de forma positiva o negativa por los cambios en la estructura del suelo que producen las labores agrícolas y el manejo que el agricultor desarrolle en el agroecosistema, de aquí la importancia del desarrollo de prácticas que favorezcan la conservación de la estructura del suelo y su estabilidad.

La pérdida de la estructura del suelo, se manifiesta fundamentalmente con la aparición de problemas de encostramiento superficial (planchado) y el piso de arado, producido por el uso excesivo y/o inadecuado de las labores agrícolas, lo cual tiende a compactar el suelo y disminuye la capacidad de infiltración de agua, para mejorar esto, el agricultor favorece un aumento en el número de labores y su profundidad para mantener el suelo en condiciones productivas. Este exceso de laboreo, lejos de mejorar la situación, disminuye a su vez, el contenido de materia orgánica y por lo tanto la fertilidad, lo cual propicia más la degradación del suelo (Sarandón y Flores, 2014).

Por eso los suelos con estructuras degradadas no propician un buen desarrollo de los cultivos, haciendo más vulnerable la producción de los mismos en las condiciones extremas de lluvias intensas o sequía, e incluso el riego excesivo, dado a sus malas condiciones físicas.

La estabilidad estructural es una condición muy importante de la estructura de los suelos, ella representa la resistencia de la estructura a su degradación, ya que la estructura como propiedad física del suelo posee cierto dinamismo, es decir, puede sufrir degradación y es capaz de regenerarse de forma natural o acorde al buen manejo que hagamos de la misma, en contraste con la textura que puede variar de forma natural muy lentamente, fenómeno no perceptible, sin dinamismo y no es afectada por la producción agrícola. A partir de esta consideración hoy se habla de la bioestructura como un estado del suelo, más que una propiedad física en sí, dada a la importancia de la misma y su dinamismo.

Tomando en consideración que para la formación de los grumos es importante la acción de la materia orgánica y los microorganismos del suelo, se utiliza el término bioestructura del suelo (Primavesi, 1980), ya que durante la descomposición de la materia orgánica se producen sustancias cementantes, predominantemente ácidos poliurónicos, conjuntamente con productos del metabolismo de los microorganismos (cola bacteriana), las cuales promueven la formación de grumos estables.

La estructura puede degradarse entre otras causas por la acción golpeante a las lluvias, el estancamiento del agua, el laboreo intensivo o fuera de tempero y la compactación que causan los equipos pesados. De las anteriores causas resulta importante el efecto degradante que ocurre cuando las gotas de agua chocan sobre la superficie de los suelos descubiertos, ya sea por causa de la lluvia o el riego por aspersión que utilice goteros inadecuados, que den lugar a la formación de gotas de tamaño demasiado grande (Porta y Poch, 2009), si el suelo está desnudo y mullida la superficie (estado habitual después de la siembra en la agricultura convencional) y la estructura es algo inestable, al impactar las gotas sobre la superficie del suelo, provocan el colapso de los agregados por salpicadura, dando lugar a una costra superficial, dejando sentir efectos desfavorables en la emergencia de las plántulas, la infiltración, el almacenamiento de agua y el riesgo de erosión, facilitando en fin la degradación del suelo. Para controlar esta degradación, con un laboreo mínimo y manejo adecuado de los residuos de cosechas sobre la superficie del suelo y la cobertura

viva en estos campos se evita la formación del sellado y encostramiento superficial provocado por el impacto de la lluvia o el riego por aspersión.

Por otra parte, la aplicación de materia orgánica, la mejora del drenaje superficial, la cobertura superficial, el control del laboreo y el tráfico de los equipos, los policultivos y su rotación, así como los pastos permanentes y arboledas, son medidas que tienden a regenerar o mejorar las condiciones estructurales del suelo y en cierta medida elevar su estabilidad estructural.

Cuando un suelo se degrada físicamente, generalmente por la pérdida de la materia orgánica, la estructura formada tiende a ser menos porosa y friable, es decir más compacta, además su estabilidad estructural tiende a disminuir, ya que los agentes cementantes que propician la unión de las partículas disminuyen su acción, facilitándose la destrucción de la estructura ante la influencia de cualquier acción degradante. Por el contrario, cuando se eleva la estabilidad estructural del suelo, fundamentalmente por un buen manejo de la materia orgánica, la porosidad estructural creada en el mismo tiende a mantenerse ante la acción de los agentes degradativos, que de otra forma hubieran logrado fácilmente su destrucción (Labrador, 2001)

Cualquier factor físico adverso que altere el crecimiento y actividad de las raíces de las plantas, como capas compactas, costras superficiales, mala aireación, pobre disponibilidad de agua, entre otros, puede afectar parcial o severamente el desarrollo del sistema radical y su actividad, disminuyendo la capacidad productiva del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Las vías más comunes empleadas para conservar y mejorar la estructura grumosa del suelo son:

- Cobertura de residuos vegetales muertos sobre el suelo, para evitar el impacto de las lluvias y el exceso de evaporación superficial del agua del suelo.
- Coberturas vivas densas.
- Incorporación superficial de abonos y residuos orgánicos.
- Laboreo mínimo, poco profundo, sin invertir el prisma, con o sin subsoleo sobre la base de la necesidad de descompactación.
- Rotación de cultivos y policultivos o vegetación herbácea perenne para promover la microvida.
- Evitar el fuego, los suelos desnudos, riegos excesivos y las inundaciones.

Por lo anterior se desprende la necesidad de contar con un recurso edáfico cuyas características físicas funcionales le permitan a la planta expresar su potencial de producción, lo cual se conoce como “Fertilidad Física del Suelo”.

La fertilidad física está dada por el mantenimiento de un estado de agregación grumoso y biodinámico, o sea, la formación de una bioestructura porosa y estable, que no obstaculice el desarrollo radical y sea capaz de poner a disposición de las raíces de las plantas agua, aire y nutrientes disponibles, permitiéndole al cultivo alcanzar una capacidad productiva favorable. El mantenimiento de la fertilidad física de los suelos tropicales es muy importante, ya que de la misma depende mucho la productividad de los suelos ante la acción degradante de la erosión, la compactación y el laboreo intensivo.

La estructura del suelo y su estabilidad son las propiedades físicas que por su dinamismo y acción determinan prioritariamente la fertilidad física del suelo y el medio biológico, que en la generalidad de los suelos influyen más en la producción agrícola que el medio químico propiamente dicho, ya que éste último en el suelo prácticamente está subordinado a las condiciones que le brinda el medio físico, por todo lo anterior es que se justifica que primero debemos controlar y mejorar el medio físico del suelo para que la fertilización y mejoras químicas puedan alcanzar el resultado esperado.

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ MARQUÉS, J. L. Las Clases Agrológicas de los Suelos. Monografía. Asignatura Ciencias del Suelo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Matanzas. 2015.

AZERO, A.; MENDOZA, I. Y VEIZAGA, M. Evaluación de la mejora de la calidad biológica de suelos con prácticas de barreras vivas en tres estudios de caso. RevActaNova. v.7 n.4 2016 Cochabamba. Bolivia.

CASIMIRO RODRÍGUEZ, L. Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba. Tesis presentada como requisito para optar al título de Doctora en Agroecología. Universidad de Antioquía. Medellín. Colombia. 2016.

CEPAG. Prácticas Agroecológicas en Fincas Familiares Campesinas. Colección 1. 2016

CPP. Apoyo a la implementación del programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Cuba. Primera ed. La Habana, Cuba. 2014.

DE FREITAS, V. Manejo del suelo en pequeñas fincas. Estrategias y métodos de introducción, tecnologías y equipos. Boletín de suelos de la FAO No. 77 Roma. 2000.

DORONSORO, C. *Evaluación de suelos. Tema 2. Sistemas de evaluación de capacidades de uso categóricos*. 2005 [en línea]. [fecha de consulta: 21 noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.edafologia.net/evaluacion/tema2/agrologicas.htm>.

DURAN ÁLVAREZ, J.,L. Y ACOSTA ROMERO, R. *Suelos. Degradación, Recuperación y Manejo en el Trópico*. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 163 p 2018.

ELIASSON, A. *Review of Land Evaluation Methods for Quantifying Natural Constraints to Agriculture*. The Institute for Environment and Sustainability. Joint Research Centre, Ispra Italy. 2007.

FALCÓN ACOSTA, M. C.; VARGAS RODRIGUEZ, H.; TORRES MENÉNDEZ, FABIENNE Y HERRERA BIEN, L. *Evaluación del conflicto de uso agrícola de las tierras a partir de su aptitud física como contribución a la explotación sostenible*. Cultivos Tropicales vol.35 no.4 2014. La Habana.

FAO. *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación del suelo*. Boletín de tierras y aguas de la FAO No. 8, 2000 220 p

FAO. *Resumen. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Como gestionar los sistemas en peligro*. Roma. 2011.

FAO. *Ahorrar para crecer en la práctica maíz-arroz-trigo. Guía para la producción sostenible de cereales*. Roma. 2016.

FAO. *Estado mundial de la agricultura y la alimentación. Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva*. Roma. 2017a

FAO. *La alimentación y la agricultura. Acciones para impulsar el programa de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2017b 40 p.

FAO; FIDA; UNICEF; PMA y OMS 2018. *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo [en línea]. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. FAO, Roma 2018. [fecha de consulta: 15 enero 2020]. Disponible en: <http://fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>

FAO y GTIS. *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. 2015

FUNES AGUILAR, A. F. *Reseña sobre el estado actual de la agroecología en Cuba*. Agroecología. 12(1): 9-10. 2017.

FUNES-MONZOTE, F. R. Integración agroecológica y soberanía energética. *Agroecología* 12(1): 57-66. 2017.

GÓMEZ GUZMÁN, S. Manejo y conservación de suelos. Contenido didáctico del curso Metodología del Trabajo Académico. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 2013.

LABRADOR MORENO, JUANA. La materia orgánica en los Agroecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi- Prensa 2001. 293 p.

MARTÍNEZ, F.; GARCÍA, C.; GÓMEZ, L., A.; AGUILAR, Y.; MARTÍNEZ VIERA, R.; CASTELLANOS, N. Y RIVEROL, M. Manejo sostenible de suelos en la agricultura cubana. *Agroecología*. 12(1): 26-27. 2018.

NOGALES CADENAS, R. Los indicadores biológicos como marcadores para evaluar la calidad de los suelos y la biotransformación de residuos orgánicos. Memorias XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 2015.

PORTA, J. Y POCH, ROSA M.. Degradación de tierras: Análisis de experiencias pasadas, aprendiendo para el futuro. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Costa Rica 2009.

PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico del Suelo. Editora "Nobel". Sao Paulo, Brasil. 541 p. 1980.

PUENTE, M. B. Agricultura de conservación: una alternativa para detener la degradación de los recursos naturales e impactos ambientales. Tesis en opción el título de Ingeniero en Tecnología Ambiental. Universidad Politécnica del Estado de Morelos. México. 2015.

RODRÍGUEZ, M. J.; BECKER, A. y FERREYRA, M. Valoración del Recurso Suelo mediante la articulación investigación-enseñanza-extensión. *Sociales Investiga*, N°3, Año 2. 2017. pp. 92-100

SARANDÓN, S. Y FLORES, C. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. La insustentabilidad del modelo de agricultura actual. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata. 2014. p. 16-25.

SOCORRO, A. Y PARETS, E. Capitulo V. Manejo agroecológico de suelos y nutrición vegetal. En: Modelo alternativo para la racionalidad agrícola. Cienfuegos. Cuba. 2000.

SOCORRO, A.; PADRÓNW.; PARETS, R. y PRETEL, R. *Modelo alternativo para la racionalidad agrícola*, pp. 2, (Edición especial para la Universalización de la Educación Superior), Universidad de Cienfuegos, Universo Sur. Cienfuegos, Cuba, 2004.

SOMOZA, A.; VÁZQUEZ, P. Y RUIZ, D. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en un establecimiento rural representativo el partido de Tandil. Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. vol. A2-593 2015. p.1000.



Monografías 2020
Universidad de Matanzas © 2020
ISBN: 978-959-16-4472-5