



Instituto
de
Suelos

USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS

Autores:

Dr.C. Claro Alberto Alfonso Linares

MSc. Milagros Monedero García

Investigadores del Instituto de Suelos

Primera edición 2004.

ISBN: 959-246-122-8

Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y Forestales

Conill y Avenida de Independencia Piso 6

Nuevo Vedado, Plaza, La Habana, Cuba.

ÍNDICE		
1. Introducción.		5
2. Fertilidad y Productividad del suelo		9
3. Uso de los suelos.		11
4. Conservación de la estructura.		16
	4.1 Medidas de conservación de suelos.	17
5. Degradación de la estructura de los suelos.		22
	5.1 Formas de degradación	24
6. Recuperación de la estructura o manejo del suelo.		27
	6.1 Aportes de materia orgánica	28
	6.2 Rotación de cultivos	29
	6.2.1 Principios generales de la rotación de cultivos.	31
	6.3 Uso y manejo de los abonos verdes.	33
	6.4 Balance de los nutrientes.	35
	6.4.1 Nutrientes esenciales y su movimiento en el suelo.	35
	6.4.1.1 Fuentes principales de nutrientes.	42
	6.4.2 Biofertilizantes.	43
	6.4.2.1 Mecanismos de acción de los Biofertilizantes	44
	6.4.2.2 Fijadores simbióticos del nitrógeno (<i>Rhizobium</i> y <i>Bradyrhizobium</i>)	45
	6.4.2.3 Fijadores asimbióticos del nitrógeno (<i>Azotobacter</i> y <i>Azospirillum</i>)	46
	6.4.2.4 Microorganismos solubilizadores del fósforo del suelo (<i>Fosfórina</i>).	47
	6.4.2.5 Micorrizas.	48
	6.4.2.6 Bioestimuladores del crecimiento.	49
	6.4.2.7 Introducción de los microorganismos Biofertilizantes en el suelo	50
	6.4.3 Criterios para fertilizar	51
	6.4.3.1. Métodos de fertilización	53

		<i>6.4.3.2. Principios que deben ser considerados cuando se vaya a fertilizar</i>	<i>54</i>	
		<i>6.5. Restablecer mediante estimulación, la actividad biológica del suelo</i>		
		<i>6.6. Los sistemas de labranza de conservación</i>		
		<i>6.6.1 Principios básicos para las labranzas.</i>		
		<i>6.6.2 Tipos de labranzas.</i>		
		<i>6.7. Cultivos de cobertura o agricultura de conservación.</i>		
		<i>6.7.1. Principios básicos de la agricultura de conservación</i>		
		<i>6.8 Conocer el régimen hídrico para evitar el deterioro de la estructura</i>		
		7. Conclusiones		
		Bibliografía consultada		

1. Introducción.

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

Dentro de este modelo de Agricultura Convencional, el recurso suelo es considerado simplemente como un soporte inerte - fuente de nutrientes - para el desarrollo de las plantas, donde se pueden aplicar los agroquímicos sin ninguna consideración medioambiental; no se logra entender que este recurso tiene vida y su dinámica está estrechamente relacionada con los ciclos de la naturaleza y es un recurso no renovable a corto plazo.

Esta forma de explotación del suelo, está acelerando su degradación y afectando su fertilidad natural, poniendo en peligro su productividad. No olvidar que la causa de ese deterioro tiene su origen en factores socioeconómicos, en la sobreexplotación de la capacidad de uso de las tierras y en prácticas de manejo inadecuadas; constituyendo una amenaza de destrucción de la base productiva del medio rural y en muchos casos ignorada por una gran parte de la población.

La Ciencia que estudia el suelo es la Pedología y define el suelo como “el producto de la alteración, del movimiento y de la organización de las capas superiores de la corteza terrestre bajo la acción de la vida, de la atmósfera y de los intercambios de energía que en ella se manifiestan”. (Aubert et Boulaïne, 1982 citado por Lozet et Mathieu 1986).

Es por tanto un medio complejo y dinámico que evoluciona bajo la influencia de factores externos (hidrosfera,

atmósfera y biosfera). Sus propiedades se adquieren progresivamente bajo la acción combinada de esos factores: la roca madre se altera bajo la influencia del clima y de una vegetación pionera, la materia orgánica se mezcla al suelo, los minerales de la roca se alteran, la materia orgánica se degrada lentamente primero en humus fresco, finalmente en ácido carbónico, agua, amoníaco y nitratos. En fin, los elementos minerales y orgánicos pueden ser desplazados por el agua de lluvia infiltrada y diferenciar así el suelo en una sucesión de capas de textura, estructura y colores diferentes llamados **horizontes**.

El suelo en el lugar que ocupa esta compuesto por tres fases, sólida (mineral y orgánica), líquida (agua) y gaseosa (aire), en proporciones variables para un mismo tipo de suelo según la influencia de los factores externos (acción de los elementos del clima, los trabajos culturales y los seres vivos que lo habitan).

La fase sólida del suelo esta formada de constituyentes minerales de tamaños variados, así como de macromoléculas orgánicas, que se organizan en agregados cuyo agrupamiento conduce a la estructuración del suelo.

Todas las propiedades físicas del suelo como sistema dependen de una manera u otra del tamaño de las partículas minerales que componen el suelo y de la forma en que estas se organizan. En términos pedológicos estas dos propiedades se llaman **textura** y **estructura** del suelo.

La noción de suelos a menudo ha sido confundida y asociada a los conceptos de tierra, terreno, terrón. A inicios del siglo XIX, el suelo estuvo vinculado, sobre todo, con su función agrícola (Littre, 1984). Fue el geólogo ruso; Dokoutchaev, (1877), sin dudas, el primero en entrever el papel del suelo como una entidad específica, constituida por una sucesión de capas u horizontes.

Posteriormente los especialistas de la Ciencia del Suelo han dirigido su atención sobre el análisis y la descripción del perfil pedológico. El estudio morfológico, mineralógico y

geoquímico de los constituyentes del suelo con el objetivo de definir y comprender el modo de formación de los diferentes horizontes: horizontes de superficie ricos en materia orgánica (horizonte A₁), horizontes eluviados empobrecidos en arcilla (horizonte A₂), horizonte de acumulación de arcilla y hierro (horizonte B), horizontes de alteración de la roca madre, etc.

Diversas clasificaciones basadas en la caracterización y las relaciones entre estos horizontes, se han elaborado por diferentes países, predominando las escuelas rusa, este europeas y norteamericana, lo que ha complicado la comprensión y entendimiento entre los especialistas para el uso de un mismo lenguaje pedológico, mención aparte necesita el intento de la clasificación mundial elaborada por la FAO, (1975), y en los últimos años, en el Congreso Mundial de Suelos de 1998, que se aprobó el uso del World Reference Base (Sistema Referencial Mundial de Suelos), aprobado por todos los países por ser más completa que la versión de clasificación de la FAO.

En el caso de Cuba se elaboró la clasificación genética de los suelos, de la cual el Instituto de Suelos publicó la última versión en el año 1999 con el nombre de “Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba”, la cual está siendo utilizada para la docencia y los servicios en Cuba. En esta clasificación abierta se emplean 5 unidades taxonómicas, Agrupamiento (14), Tipo (36), Subtipo (174) y Género (134) y Especie (según el factor limitante).

El **Agrupamiento** reúne tipos de suelos que tienen en común el proceso principal de formación del suelo y su grado de evolución en relación con la interacción de los factores de formación. Ellos, en su mayoría, se definen por el horizonte principal de diagnóstico.

El **Tipo genético** es la unidad taxonómica básica de la clasificación y comprende aquellos suelos que presentan una manifestación clara de un mismo proceso de formación con un grado de desarrollo análogo. En la mayoría de los casos se define por horizontes normales de diagnóstico.

El **Subtipo de suelos** refleja las formas cualitativas de manifestación del proceso de formación de los tipos genéticos de suelos y puede constituir, además, transiciones entre los tipos. Se define por los horizontes normales o por las características de diagnóstico.

El **Género** está determinado por características químico-mineralógicas del suelo, relacionado con la roca madre o con la intensidad de lavado de las sustancias, la mineralogía, el grado de saturación del suelo, la presencia de rocas madres duras y compactas o fragmentadas a menos de 50 cm de profundidad (contacto lítico y paralítico).

Las **Especies de los suelos** se separan según los factores limitantes de los suelos, establecido en el mapa de suelos 1:25 000 (DNSF, 1990).

Para algunos autores (Callot *et al.*, 1982) el análisis pedológico aun es muy general, pues ellos se efectúan a una escala de tiempo relativamente grande (millones de años) y no tiene en cuenta el funcionamiento actual de los suelos a la escala de vida de un vegetal (centenas de años). Los pedólogos, orientan sus investigaciones sobre los procesos de evolución del suelo, alejándose progresivamente del contexto agronómico.

Entonces Henin (1960), pedólogo francés, desarrolló el concepto de perfil cultural, basado sobre todo en el estudio de las propiedades físicas de las capas del suelo en medio cultivado. Esta concepción más agronómica del suelo permite adaptar mejor las técnicas culturales en función de la textura y la estructura de los suelos. En particular, el estudio de la porosidad del suelo y de la estabilidad de los agregados estructurales muestran las posibilidades de colonización del suelo por las raíces.

Esta concepción tiene relación estrecha con la Edafología que se define como “la ciencia que estudia el suelo desde el punto de vista de los vegetales que produce” a diferencia de la Pedología, que lo considera como un cuerpo

aislado, sin casi tener en cuenta las consecuencias prácticas que de su estudio se desprenden.

El presente documento tendrá este enfoque, aunque sin soslayar los aportes que los pedólogos cubanos han dado para el manejo de los suelos.

2. Fertilidad y Productividad del suelo.

De las definiciones y conceptos antes analizados se desprende que el manejo integrado del suelo, según Alfonso, (1996), se vincula a la práctica de una Agricultura Sostenible y esta depende ampliamente y promueve a largo plazo la fertilidad y la productividad de los suelos y esto requiere una comprensión básica de la interrelación planta - estructura - textura - biota del suelo - materia orgánica.

La acción conjunta de los factores bióticos y abióticos en el proceso de formación del suelo contribuye a la creación de una capa superficial humosa muy apreciada por los agricultores. **El humus** es el resultado de la descomposición cíclica de la materia orgánica a consecuencia de la actividad del edafón, que solubiliza y libera los nutrientes a ser absorbidos por las plantas. En condiciones tropicales, la tasa de acumulación de humus en el suelo es baja, por lo que es muy importante fomentar el reciclaje intensivo de la materia orgánica.

Fertilidad del suelo, es la aptitud de un suelo para producir bajo un determinado clima. Esta aptitud se mide por la abundancia de las cosechas que el puede dar cuando se le aplican técnicas agrícolas convenientes, y a la exigencia de las cualidades y de la persistencia a largo plazo de esta aptitud de producir. Se mide esta fertilidad por los rendimientos de las plantas cultivadas. Ello significa que puede suceder que un suelo fértil o rico, si es mal cultivado puede dar rendimientos mediocres y viceversa, un suelo pobre puede dar rendimientos aceptables si es bien cultivado. Por tanto se debe distinguir la **fertilidad natural o actual** de la **fertilidad adquirida o**

potencial. En fin se debe diferenciar la **fertilidad química** de la **fertilidad física.** (Lozet et Mathieu, 1986).

Al respecto Porta *et al.* (1999) introdujeron el termino “**Fertilidad sostenible o durable** que implica que a largo plazo siempre haya disponibilidad de nutrientes. En la práctica, en ningún ecosistema el ciclo biogeoquímico es completamente cerrado, si bien los que más se aproximan a esta condición son aquellos ecosistemas forestales en estado estacionario, en los que se pueda admitir que las pérdidas de nutrientes por erosión, lavado y volatilización, se compensan con los aportes a partir de la atmósfera y por meteorización de las rocas y minerales.

El ciclo de nutrientes según Porta *et al.* (1999) se puede modelar como:

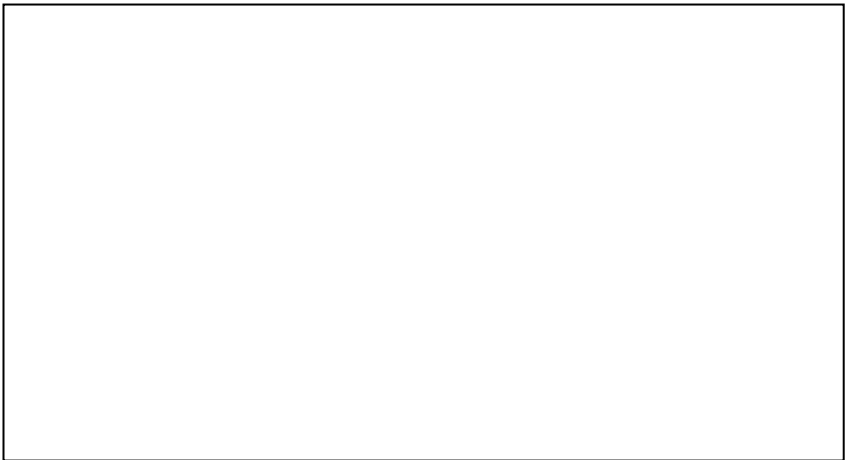


Figura 1. El ciclo de nutrientes.

Productividad del suelo, es la aptitud de un suelo a soportar un cultivo o un sistema de cultivo en las condiciones normales de explotación. Para entender como funciona la productividad del suelo se deben reconocer las relaciones existentes entre el suelo y la planta. Ciertos factores externos controlan el crecimiento de las plantas: aire, calor (temperatura), luz,

nutrientes y agua. Esta productividad depende de la **fertilidad natural** y de **la fertilidad adquirida**. (Lozet et Mathieu, 1986)

Por tanto es necesario conocer que la **fertilidad natural** del suelo es la capacidad de sostener a la planta e influir en su rendimiento. El suelo junto con factores como el clima y la forma de agricultura dan por resultado la **productividad**.

Para Espinosa (1997) la **fertilidad** es vital para que un suelo sea **productivo**. Al mismo tiempo, un suelo **fértil** no es necesariamente un suelo **productivo**. Factores como mal drenaje, insectos, sequía, pendiente, etc. pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad del suelo sea adecuada.

Otros autores como Kolmans y Darwin (1995), establecen una relación entre la salud de las plantas y la fertilidad orgánica y la exponen de la siguiente forma:

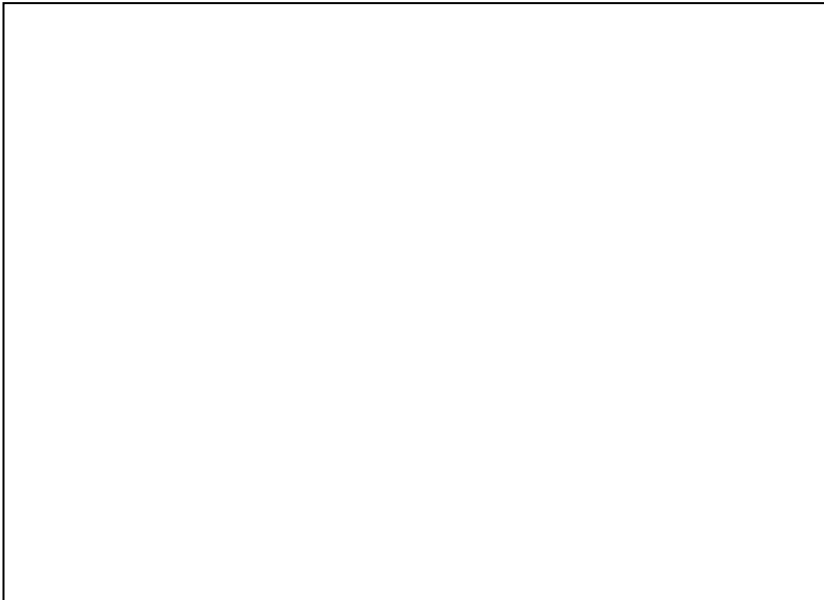


Figura 2. Relación entre la salud de las plantas y la fertilidad orgánica.

3. Uso de los suelos.

Cuando se vaya a valorizar una región para ser cultivada se pueden agrupar sus suelos en clases de productividad, por lo que los conceptos de fertilidad y productividad determinan el uso de los suelos. Atendiendo a su capacidad productiva y susceptibilidad a la erosión hídrica (es el proceso erosivo determinado por la acción del agua sobre el suelo y comprende la acción de la lluvia y la escorrentía), es posible clasificar los suelos en 8 clases agrológicas o Agroproductivas. (Cabrer y García, 1965).

Las cuatro primeras clases, constituyen un grupo de suelos apropiados, en distintos grados, para establecer en ellos cultivos anuales, que exigen escardas o remociones periódicas de tierras. Comprende aquellos terrenos laborables con maquinaria agrícola pesada o con tracción animal, y que tienen grado de pendientes variables; además de suficiente fertilidad natural para permitir el desarrollo, por lo menos mediano, de los cultivos.

Un segundo grupo de suelos, que comprende las clases V, VI, VII y VIII, son tierras apropiadas para establecer en ellas vegetación permanente (potreros, cafetales, cacaotales, maderables, frutales, bosques, etcétera). Se presenta a continuación las clases, sus principales características y usos.

Clase I. Comprende terrenos apropiados para el cultivo. No requiere prácticas de conservación antierosivas.

Tienen relieve llano o de ligera pendiente, son fáciles de trabajar, que no tienen piedras en la capa arable. Son suelos profundos, de fertilidad natural que varía de mediana a alta. Por lo general son los suelos más productivos, tienen buen drenaje.

Pueden ser usados en todos los cultivos agrícolas. Cuando están sujetos a una explotación continuada de cosechas, requieren la conservación y aumento de la fertilidad natural mediante el suministro adecuado de fertilizantes, abonos orgánicos, abonos verdes, rotación de cosechas, etc.

Comprende el agrupamiento de suelos **Ferralítico y Ferrálico**, los subtipos **Ferralítico Rojo y Ferrálico Rojo**, en particular para ambos, los subtipos **típico, compactado, lixiviado, hidratado, nodular y húmico** y algunos subtipos de los tipos **Ferralítico Amarillento lixiviado y Ferrálico Amarillento**, todos presentes en la Llanura Roja Habana Matanzas.

Clase II. Comprende terrenos apropiados para el cultivo. Requiere siempre prácticas simples de conservación antierosivas de suelos.

Son suelos de relieve ondulado a ligeramente alomado, capa arable de cierta profundidad y de buena a mediana fertilidad natural. Están expuestos a los efectos de la erosión por el agua o por el viento. Exigen contrarrestar la erosión, conservación de las aguas, simples medidas de drenaje, eliminación de piedras, aumento de la fertilidad natural.

Pueden ser usados en numerosos cultivos de modo permanente, cuando exista un buen manejo de los mismos y se empleen practicas de conservación tales como: cultivos en surcos a nivel, cultivos en fajas, cultivos de coberturas, rotación de cultivos, sistemas sencillos de terrazas, etc.

Comprende la mayor parte de los suelos de los agrupamientos **Fersialítico y Pardo Sialítico** y los restantes subtipos de los agrupamientos **Ferralítico y Ferrálico** (estos últimos no necesitan medidas antierosivas).

Clase III. Comprende terrenos apropiados para el cultivo. Requieren siempre prácticas complejas o el uso intensivo de métodos combinados de conservación de suelos y de agua.

Son suelos de relieve en pendiente o declive de consideración, perfil del suelo de mediana profundidad, fertilidad natural mediana y muy susceptible a los efectos de la erosión severa.

Para su uso en la agricultura, requieren el empleo combinado de los sistemas antierosivos que se aplican en los cultivos en pendientes.

Dentro de los principales agrupamientos de suelos que se encuentran en esta clase están: el **Ferrítico**, el **Alítico** y el **Húmico Sialítico**

Clase IV. Comprenden terrenos que sirven únicamente para cultivos muy limitados, es decir, son tierras que pueden utilizarse ocasionalmente en algunos cultivos. Requieren prácticas intensivas de conservación de suelos y de agua.

Relieve que varía desde un elevado grado de pendiente, a una mediana inclinación o a veces hasta llano, capa arable de poco espesor o de mediana profundidad, propiedades físicas desfavorables para la retención de la humedad, fertilidad de mediana a baja, susceptibilidad severa a la erosión.

Estos suelos no son buenos para los cultivos en surcos, se emplean mejor para vegetación permanente. Cultivos intensivos en esta clase de tierra solo se justifican en caso de gran emergencia o necesidad. Las regiones llanas de drenaje imperfecto aunque no están expuestas a la erosión que no son apropiadas para cultivos en surcos por el largo periodo en que están saturadas de agua. Se consideran dentro de esta clase.

Comprende los agrupamientos: **Vertisol** (varios subtipos), **Fluvisol** (algunos subtipos) y **Antrosol**.

Clase V. Comprende terrenos impropios para cultivos en surcos pero que pueden emplearse en vegetación permanente (potreros, repoblación forestal, bosques, sirvo pastoreo, etc.)

Son terrenos de poca pendiente y no están sujetos a erosión apreciable. Es decir, que los terrenos de esta clase son casi llanos. No pueden cultivarse a causa de la excesiva pedregocidad o elevada humedad por estar sujetos a inundaciones, salinización secundaria o primaria.

Se pueden utilizar en potreros con un buen manejo, o en bosques.

Comprende suelos de los agrupamientos: **Vertisol** (algunos subtipos), **Hidromorficos**, **Halomorficos**, **Histosol** y **Fluvisol** (algunos subtipos).

Clase de la VI a la VIII. Comprende terrenos no apropiados para el cultivo o para vegetación permanente.

Son suelos con pendientes superiores a 20%, poco profundos, muy sensibles a la erosión y expuestos a la lluvia, excesivamente pedregosos o rocosos.

Solo pueden ser utilizados para la reforestación y en la clase VI en sirvo pastoreo con buen manejo. Requiere medidas costosas de conservación de suelos. Comprende los agrupamientos de suelos **Poco Evolucionados**.

En los últimos años se ha establecido para Cuba una modificación para el uso de los suelos, la que se ajusta más a los sistemas de producción de la Agricultura Cubana, por lo que se han definido y utilizan las **Categorías Agroproductivas**, las cuales determinan el establecimiento de los Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP) de los sistemas de riego o campos y se fundamenta en la definición de la Capacidad Agroproductiva de cada suelo frente a un cultivo en específico.

El método utilizado es el inductivo-cuantitativo, donde se combinan factores edafoclimáticos con el comportamiento de los rendimientos de 21 cultivos en los diferentes tipos de suelos; a partir de ahí es posible inducir los rendimientos mínimos potenciales.

Para dicha evaluación Agroproductiva de los suelos se fijaron las cuatro categorías siguientes:

I Muy Productiva: En estos suelos es posible alcanzar los máximos rendimientos previstos para un cultivo; no hay afectaciones de Factores Limitantes o su incidencia es mínima; tienen una expectativa de rendimiento que oscila entre 70 y 100% de los Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP).

II Productiva: Es posible alcanzar altos rendimientos; por lo general aparecen limitantes de carácter poco severo o que no tienen una marcada incidencia sobre la mayoría de los cultivos; estas limitantes pueden ser atenuadas o eliminadas con determinadas prácticas en el manejo de los suelos; tienen una expectativa de rendimientos que varía entre 50 y 70% de los RMP.

III Medianamente Productiva: Existe una acentuada influencia de los factores limitantes sobre el desarrollo de los cultivos; por lo general requieren de prácticas específicas. En dependencia de los factores limitantes que ocurran en estos suelos, cuando se manejan de forma adecuada es posible alcanzar rendimientos que se corresponden con una categoría superior (II). En esta categoría (III) se obtiene entre 30 - 50% de los RMP

IV Poco Productivo: Suelos con limitantes severas, se afecta sensiblemente el desarrollo y rendimiento de los cultivos; el potencial productivo es bajo, sin embargo, no están totalmente excluidos desde el punto de vista agrícola; excepcionalmente se pueden obtener resultados aceptables en especies muy específicas. Requieren de un manejo bien diferenciado que puede incluir prácticas especiales o complejas. La expectativa de rendimiento para estos suelos es inferior al 30% de los RMP.

4. La conservación de la estructura de los suelos.

Si se recuerda la definición de fertilidad, ella ésta regida en primer lugar por el estado físico (fertilidad potencial) y esta a su vez por las modificaciones que sufre la estructura del suelo, que es variable en dependencia de los factores que sobre ella incidan. Es prudente diferenciar entonces el concepto de estructura (un estado momentáneo) al de su estabilidad estructural (cambios de ese estado).

La **estructura** es el resultado de la forma en que están asociados los constituyentes elementales de la tierra (arcilla, limo, arena). Este término evoca el arreglo espacial de las partículas minerales y su eventual unión por las sustancias cementantes tales como: materia orgánica, arcilla y óxidos. Para caracterizar una estructura es necesario estudiar la disposición de sus elementos constituyentes bajo tres puntos de vista:

- a. La importancia de los poros vacíos y de los llenos (la Porosidad).
- b. La resistencia de las ataduras de los constituyentes elementales entre sí (cohesión) y la resistencia de las ataduras que unen los agregados entre sí (cohesión de la masa del suelo con respecto a un agente exterior).
- c. Forma, tamaño de los elementos estructurales (figura 1) y tipos (Figura 2)

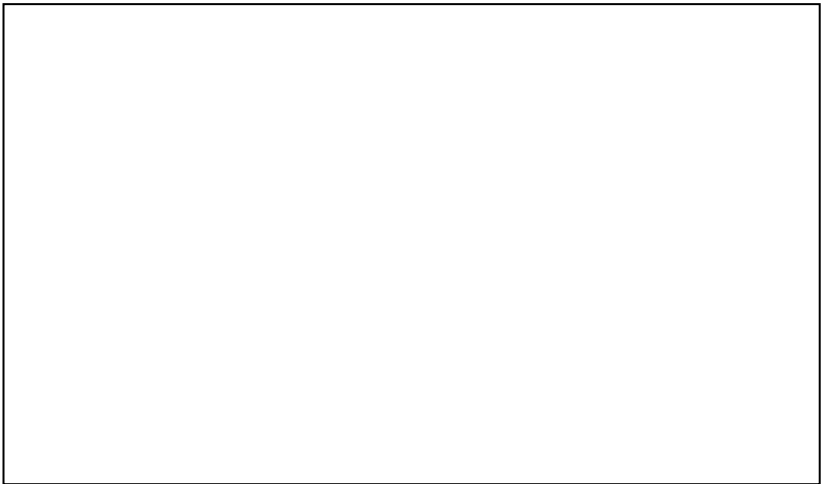


Figura 3. Diferentes formas de agregados.



Figura 4. Tipos de estructuras

Por su parte, **estabilidad estructural** es la aptitud de un suelo a resistir más o menos la acción de los agentes externos, principalmente el agua, sin destruirse.

Importancia de la estabilidad estructural.

Cuanto mayor tiempo dure un estado de la estructura que sea favorable para el cultivo, sea este estado natural o logrado por el trabajo del hombre, es decir, una estructura con una estabilidad estructural elevada, la adaptación del cultivo en cuestión será mejor. Este es el gran dilema (paradigma) que se le presenta al agrónomo o al agricultor a la hora de preparar su tierra o al manejar el suelo de forma general, es decir, la conservación de la estructura.

4.1. Medidas de conservación de suelos.

En el pasado, y aún hoy en día en muchas partes, el énfasis de las prácticas o medidas de conservación era controlar las tasas de pérdidas de suelo por erosión, expresada en Mg/ha o mm por año. Las medidas de conservación generalmente mecánicas, estaban dirigidas a reducir la erosión a una tasa aceptable llamada tolerancia de pérdida de suelo. Actualmente ha cambiado el énfasis ya que

se considera que los efectos de la erosión no son sólo pérdida de profundidad del suelo, sino pérdida de nutrientes y de materia orgánica, y de deterioro de las propiedades físicas.

Por ello ahora las prácticas de conservación tratan de integrar, a través de medidas o prácticas agronómicas o biológicas, el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad química, física y biológica del suelo. Preservar el agua de lluvia donde cae engloba los principios de reducir la erosión del suelo y al mismo tiempo mejorar la capacidad de retención de agua aprovechable por las plantas. También en ese sentido, las prácticas agronómicas de manejo de suelos y cultivos son generalmente más efectivas que las prácticas mecánicas u obras de ingeniería para el manejo del agua. Entre las prácticas de manejo de tierras para el control de la erosión, el establecimiento de una adecuada cobertura de plantas no solo es la más barata y efectiva medida de conservación, sino la que también conduce a una mejor explotación de los recursos tierra y agua. (Pla Sentís, 1996) citado por FAO, (1996).

Las medidas de conservación agronómicas son, en lo esencial, técnicas mejoradas de manejo de suelos, los cultivos y el ganado, que guardan estrecha relación con las prácticas agrícolas normales, pero que están diseñadas o elegidas especialmente para facilitar la conservación. Sin embargo, antes de aplicarlas en una nueva localidad, se debe examinar meticulosamente su compatibilidad con los métodos agrícolas y los sistemas de cultivos existentes, al mismo tiempo que su eficacia posible para luchar contra la erosión en las condiciones imperantes. (FAO, 1990).

Para el establecimiento de las medidas agronómicas que más adelante se citaran, se tiene en cuenta los principales efectos de la vegetación en cuanto a la protección del suelo:

1. Interceptar las gotas de lluvia, absorbe su energía y reduce la escorrentía.
2. Retarda la erosión al disminuir la velocidad de escorrentía.

3. Limita el movimiento del suelo desprendido.
4. Mejora la agregación y porosidad del suelo por efecto de las raíces y residuos de plantas.
5. Aumenta la actividad biológica del suelo.
6. Aumenta la capacidad de almacenaje de agua en el suelo al disminuir su humedad por la transpiración.

Estos efectos de la vegetación varían estacionalmente, por las especies, suelos y clima, así como por la calidad del material vegetal que suministra (raíces, residuos de plantas, ramas terminales, etcétera).

Las principales medidas o prácticas agronómicas son:

- **Cultivos múltiples o policultivos.** Que son los cultivos que se pueden definir en general como cultivos de más de una especie en una misma parcela de tierra durante un año. Son eficientes por si solas en pendientes menores del 12%.
- **Cultivos siguiendo las curvas de nivel o siembra en contornos.** Para la lucha contra la erosión, el cultivo siguiendo las curvas de nivel es mejor que el laboreo vertical de las pendientes, combinado con otras medidas de conservación puede ofrecer excelentes resultados. Son efectivas para pendientes menores del 12%.
- **Cultivos en fajas.** Es una práctica en que los cultivos se siembran o plantan siguiendo un orden sistemático de fajas o bandas que sirven de barreras al agua y a la erosión eólica. Existen tres tipos principales:
 - 1) Cultivos en fajas siguiendo las curvas de nivel: Se plantan dos o más cultivos siguiendo las curvas de nivel en fajas alternativas.
 - 2) Cultivos en fajas en campo: Las fajas alternativas son de una anchura uniforme a lo largo del campo y no se ajustan necesariamente a la curva de nivel. Esta forma se suele practicar en una topografía muy irregular.

3) Cultivos en fajas rompevientos: Se plantan cultivos altos resistentes al viento alternativamente en fajas más estrechas perpendiculares a la dirección de los vientos predominantes.

Esta forma es efectiva en pendientes menores del 12%.

- **Cobertura del suelo con rastrojos o “mulch”**. Esta práctica es bastante eficaz para luchar contra la erosión porque protege al nivel del suelo, formando una cobertura contra la erosión por impacto de las gotas de lluvias y la constitución de una sobrecapa. Es efectiva hasta un 15% de pendiente.
- **Cultivos de coberturas**. Son cultivos densos que se plantan principalmente para proteger el suelo entre cultivos arbóreos o cultivos semipermanentes o entre las estaciones o inter cosechas (estación de lluvias intensas). Los cultivos de coberturas pueden ser gramíneas o leguminosas, anuales o perennes, solos o asociados, según sean las necesidades reales. Son muy eficientes como medidas antierosivas en pendientes menores al 16%.
- **Labranza mínima**. Se define como la manipulación mínima del suelo necesario para la producción de cosechas. Una expresión más amplia, la labranza de conservación, se utiliza a veces para insistir en el tipo de sistema de labranza que reduce las pérdidas de suelo y agua. Son efectivas solo combinadas con otras medidas de conservación.
- **Barreras vegetativas**. Son arbustos o gramíneas resistentes plantadas a través de una pendiente con el fin de retrasar el arrastre del suelo pendiente abajo. Se pueden establecer a menores distancias para formar terrazas naturales a la distancia a que se construyen los bancales o mayor distancia, similar a la calculada para los diques de laderas, a

las que se le instalan drenajes de nivel cada dos barreras, para luchar contra la escorrentía excesiva. Los cultivos más utilizados en Cuba como barreras son: Vetiver (*Vetiveria zizanoides*), Piñón amoroso (*Gliricidia sepium*), Leucaena (*Leucaena leucosephala*), Piña de ratón (*Bromelia pinguin* Lindl.), Piña (*Annana scuasosa*), Caña de azúcar (*Sacharum officinalis*), Platano (*Musa paradisiaca*), Millo forrajero (*Sorghum annum*), etcétera.

Aunque se consideran medidas de acondicionamiento del suelo, se pueden señalar como medidas efectivas combinadas a las anteriores, las siguientes:

- **Uso de abonos orgánicos, (estiércol y compost) y abonos verdes.** Incorporan materia orgánica al suelo para mejorar tanto su fertilidad como su estructura. Los abonos verdes además de aportar materia orgánica y reponer los nutrientes de las plantas, mejora la estructura del suelo y reduce al mínimo la escorrentía y la erosión.
- **Rotación o sucesión de cultivos,** entre los cultivos utilizados en las rotaciones cabe mencionar los cultivos en hileras, los granos, las leguminosas y las gramíneas o sus mezclas. La inclusión de estas últimas no sólo enriquecerá las reservas de nutrientes, sino que mejorará asimismo la estructura del suelo.

5. Degradación de la estructura.

Definición:

Es difícil definir el término degradación del suelo cuando existe una enorme variación de suelos, clima y desarrollo socioeconómico. Se define como la reducción, en términos de cantidad y calidad, de la capacidad actual y/o futura del suelo para la producción vegetal. Para precisar mejor este término es importante identificar los límites críticos de las propiedades del suelo y los procesos que limitan su uso potencial. Desde el

punto de vista agrícola, este límite crítico es el punto en el cual el suelo no puede soportar una agricultura comercial o de subsistencia. (Benites *et al.*, 1994)

Por otra parte en el documento emitido en La Cumbre para la Tierra, (1992) **por degradación de tierras** se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivos de regadíos o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionadas en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluido los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento tales como:

- i) la erosión del suelo causada por el viento o el agua.
- ii) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y
- iii) la pérdida duradera de vegetación natural.

En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. (Da Veiga y Do prado, 1994).

Por último se entiende por **DESERTIFICACION** la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultantes de diversos factores, tales como los climáticos y las actividades humanas. (Cumbre para La Tierra, 1992).

Por tanto la desertificación puede considerarse como la consecuencia final de la degradación de los suelos. Se define como "la disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra, proceso que a la postre puede llevar a una situación casi desértica", (Nahal, 1986). La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (PNUMA, 1984) señala que el 29% de la superficie terrestre del planeta sufre una desertificación ligera, mediana o grave, mientras que el 6% se considera como desertificado en grado sumamente grave.

La desertificación es un problema medioambiental que afecta a casi la mitad de los países. Se estima que se pierden cada año entre 6 y 27 millones de hectáreas de tierra, dependiendo de las regiones, debido a la desertificación. Un 70% de las zonas áridas, que ocupan un tercio de la superficie terrestre, y en especial aquéllas que rodean los desiertos, se encuentran lo suficientemente deterioradas como para ser vulnerables a este proceso.

Más que el simple avance de las dunas, la desertificación implica una degradación del suelo tan grande que la tierra pierde la capacidad de sostener su riqueza y diversidad biológica. La principal causa de este proceso es la escasez de lluvias, pero el sobrepastoreo, la deforestación, la irrigación excesiva y las prácticas agrícolas poco apropiadas, contribuyen a acrecentar significativamente el problema. Una vez que se despoja a la tierra de su vegetación por alguna de estas causas, el viento y la erosión del agua dan lugar a unas tierras débiles y áridas que no se recuperarán en siglos. (Encarta, 2003).

5.1. Formas de la degradación

La degradación del suelo puede ser cuantitativa, por ejemplo, la pérdida del suelo debido a la erosión; o cualitativa, como la disminución de la fertilidad, cambios estructurales, cambios en la tasa de aireación / humedad, cambios en el contenido de sales y compuestos alcalinos, contaminación con algunos compuestos químicos y cambios en la flora o fauna del suelo. La degradación del suelo puede ser también un fenómeno natural, por ejemplo, la formación de fragipanes, de lateritas/plintitas, o puede ser causada por el hombre.

Según Benítez *et al.* (1994) la degradación puede ser también erosiva y no erosiva, los tipos de degradación no-erosiva más comunes son:

- compactación y quema,
- disminución de la fertilidad del suelo,
- pérdidas de materia orgánica,
- problemas con el uso no agrícola del estiércol,

- cambios estructurales: laterización, encostramiento y formación de panes,
- acidificación,
- acumulación de compuestos tóxicos y plagas,
- degradación de suelos como consecuencia del anegamiento, la salinización o alcalinización.

Factores causales de la degradación. (Salazar, 1994).

- 1.- Deforestación.
- 2.- Sobrepastoreo.
- 3.- Actividades agrícolas.
- 4.- Sobre explotación.
- 5.- Actividades bioindustriales.

Baste señalar que en Norte y Centroamérica hay 91 millones de hectáreas afectadas por la tercera causa de degradación, siendo la más significativa.

Según Robert (1997) la degradación es una interacción de los tres procesos siguientes (Figura 5).

Degradación física donde la erosión aparece como el fenómeno dominante en el sur del globo y en las regiones de temperaturas moderadas (ejemplo Francia).

Degradación física y química con la salinización más a menudo vinculada con la irrigación.

Degradación química por acidificación y contaminación. Y finalmente la degradación biológica que acompaña a menudo los otros tipos de degradación y puede conducir a la desertificación.



Figura 5. Los diferentes procesos de degradación de los suelos.

La degradación de tierras depende en parte de las características de suelos y clima, pero se debe fundamentalmente a un uso y manejo inadecuado de los recursos suelo y agua. El agua es el principal factor causante de la degradación de los suelos, pero a su vez es el recurso más afectado por dicha degradación. Uno de los principales efectos de la degradación de suelos es la pérdida de capacidad de los suelos para regular el régimen hídrico tanto a nivel local como de cuencas hidrográficas, lo cual afecta negativamente la suplencia regular de agua, en cantidades adecuadas, para usos agrícolas, urbanos e industriales.

Por otro lado, para lograr incrementar y regularizar la producción agrícola de las tierras, y para contrarrestar uno de los principales efectos negativos de la degradación de suelos, crece la necesidad de utilizar agua para riego, lo cual puede llevar al agotamiento de las reservas de agua superficial y subterránea, y a incrementar la competencia de uso para otros fines. Por lo tanto este desarrollo agrícola no será sostenible, y de no encontrarse soluciones alternativas pudiera resultar en consecuencias catastróficas dentro de unas décadas. Los objetivos supuestamente conflictivos de productividad de agroecosistemas y su vulnerabilidad a la degradación ambiental son controlados por los mismos factores (suelo, clima, topografía, manejo) y procesos hidrológicos fundamentales (El-Swaify y Evans, 1999).

6. Recuperación de la estructura o manejo del suelo.

Este aspecto es quizás uno de los más importantes, por cuanto en él se resume prácticamente todo el manejo del suelo. Un buen manejo de suelo implica la generación significativa de materia orgánica– biomasa (vegetal y animal). La sostenibilidad de la fertilidad del suelo esta en función de la capacidad de autogeneración de biomasa del sistema productivo. Recuperar la estructura, se refiere a restablecer la estabilidad estructural de un suelo que por diversas causas ha perdido su fertilidad natural y ha adquirido otra menos favorable para el desarrollo de las plantas (funcionamiento del suelo, Callot *et al.*, 1982). Para lograrlo se deben conjugar todos los factores que componen el sistema, es decir, ejecutar las mejores opciones de manejo que influyen en el restablecimiento de la materia orgánica (humus), principal agente aglutinador o cementante de la estructura (puentes de unión de las partículas del suelo).

Entre estos factores se encuentran:

- ❖ Aportes de materia orgánica.
- ❖ Rotación de cultivos, estos deben incluir abonos verdes de alta relación C/N que hagan positivo el balance húmico del suelo.
- ❖ Balance de los nutrientes para evitar acumulación de los mismos.
- ❖ Utilización de Biofertilizantes, que no agredan la estructura.
- ❖ Restablecer mediante estimulación, la actividad biológica (fauna y biota) del suelo o incluso por introducción de éstas en el suelo.
- ❖ Sistemas de labranzas de conservación.
- ❖ Cultivos de coberturas
- ❖ Conocer el régimen hídrico de los suelos para establecer sistemas de riego que no deterioren la estructura.

6.1. Aportes de materia orgánica.

Las materias orgánicas se manifiestan a través de una serie de acciones directas o indirectas, la mayor parte

favorables a la vegetación y al suelo, la materia orgánica aumenta la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, mejora la porosidad de los suelos compactados, regula la aireación y la temperatura, crea una estructura granular aterronada que favorece el desarrollo optimo de las raíces de las plantas. Asimismo, tiene sustancias activas, aumenta la actividad biótica, es rica en microorganismos, reprime y regula el crecimiento desmesurado de las poblaciones de organismos dañinos. La materia orgánica es una gran reserva de nutrientes que es liberada poco a poco para su empleo e impide su arrastre por la erosión.

a) Ciertos aportes de materia orgánicas (raíces de plantas cultivadas y en particular de plantas de prados) intervienen directamente en la creación de una estructura favorable, (figura 6).



Figura 6. Modo de formación de agregados al contacto con las raíces (según Tinker, 1976 y Greenland, 1979).

- 1- Unión de las partículas por los puentes de mucílagos en el curso de la retracción del suelo en la interfase suelo/raíz.
- 2- Agregado de partículas en los alrededores de la raíz, construido en el curso de las diversas fases de desecación y humectación.

b) La microflora del suelo depende de los aportes de materia orgánica fresca. Las poblaciones microbianas son capaces de multiplicarse o de desaparecer brutalmente según la presencia o ausencia de los metabolitos nutritivos indispensables.

c) El humus tendrá, según diversos autores, un efecto estimulante con respecto a la vegetación.

Las fuentes más conocidas de materia orgánicas son:

Pajas de diferentes gramíneas, compost de pajas, abonos de granjas, constituyen las fuentes orgánicas por excelencia (estiércoles equinos, bovinos, porcinos, ovinos, avícolas, estiércoles de granjas mixtos, frescos y mineralizados), los restos de cosechas, los abonos verdes (leguminosas, gramíneas y crucíferas), los residuales domésticos e industriales.

Otras fuentes diversas son: los productos comerciales (super humus, etc...), desechos de industrias fitógenas. (café, bagazo, cachaza etc.), turba, desechos de podas, aserrín, compost vegetales, algas marinas, guanos de murciélagos etc.

6.2. Rotación de cultivos.

Rotación o sucesión de cultivos se define como "el orden de sucesión en la misma parcela de plantas que pertenecen a especies e incluso sencillamente a variedades diferentes". Se debe tener en cuenta el efecto que realiza el cultivo sucesor y antecesor, de donde se derivan el concepto de

simpatía y antipatía en dependencia del efecto que hace un cultivo sobre el cultivo principal. También algunos autores lo llaman alelopatía. Entre los cultivos utilizados en las rotaciones cabe mencionar los cultivos en hileras, los granos, las leguminosas y las gramíneas o sus mezclas. La inclusión de estas últimas no sólo enriquecerá las reservas de nutrientes, sino que mejorará asimismo la estructura del suelo.

A continuación (Cuadro 1), se expone un ejemplo de una rotación con la papa como cultivo cabeza de rotación o cultivo principal, en un suelo Ferralítico Rojo con contenidos bajos de materia orgánica (< 2%).

Cuadro 1. Rotación de cultivos propuesta para fincas con contenidos de MO < 2%.

Abreviaturas

H = Hortalizas (Col, Tomate, Cebolla, Ajo, Pimiento), Re = Remolacha, P = Papa (este cultivo rotará 2 años si y uno no), L.M. = Labranza o laboreo Mínimo, Bo = Boniato, Hb = Habichuela, Za = Zanahoria, Pe = Pepino, Ca = Calabaza, Mz = Maíz (podrá ser cosechado tierno a los tres meses o seco a los 4 meses), Fj = Frijol Común (sembrado como precedente de la papa puede ser de un ciclo de 80 días y como sustituto de la papa en la rotación su ciclo podrá ser de variedades de hasta 110 días.

G + AV = Asociación de Maíz o Sorgo + Abono Verde (Vigna, Canavalia, Frijol Terciopelo, Dolicho), la distribución espacial de ambos cultivos será de 2:1 (2 surcos de gramínea y uno del abono verde). Asociado con el maíz puede sembrarse calabaza, o también se pueden asociar habichuela para el consumo y/o frijol común, ello permitirá además el control de las malezas, e introduce el concepto de policultivos en el sistema y contribuye a elevar el Índice Equivalente de la Tierra (IET).

En los suelos con valores de materia orgánica < 2%, es recomendable también, aportar materia orgánica directamente en la preparación en la última labor de grada antes del surcado, a razón de: 20-25 t/ha (estiércoles, cachaza, etc.), el compost en menor volumen a razón de 5-10 t/ha y el humus de lombriz a razón de 4 t/ha localizado en el surco, en estos casos es necesario balancear la adición de nutrientes que efectúan dichos abonos orgánicos, incluido los nutrientes que pudieran reciclar los abonos verdes. Igualmente es necesario aclarar que de disponerse de materia orgánica suficiente, esta puede aplicarse todos los años.

Estas propuestas de rotaciones no constituyen un esquema único y como toda rotación son flexibles debiendo cumplir con los principios establecidos para las mismas, los que se exponen a continuación.

6.2.1. Principios generales de la rotación de cultivos.

Los principios generales que debe cumplir una buena rotación son:

1.- Que desde el punto de vista nutricional la secuencia sea ventajosa o al menos no perjudicial. Preferiblemente deben alternarse plantas capaces de extraer nutrientes de las capas más profundas del suelo a las más superficiales.

En el ejemplo del Cuadro 1, la papa puede aportar a la reserva del suelo gran cantidad de nutrientes los que serán aprovechados por el cultivo que le sucede, en el caso que fuera una asociación de una gramínea con leguminosa, utilizada esta última como abono verde, la misma además de aprovechar dichos nutrientes, a su vez dejarán en el suelo materia orgánica y reciclarán adicionalmente nutrientes que extraerán las raíces de las gramíneas de la profundidad y la leguminosa facilitará Nitrógeno que fijaron de la atmósfera por la simbiosis que se produce entre sus raíces y las bacterias fijadoras de N.

2.- Hay que hacer alternar las plantas de enraizamiento profundo con las de enraizamiento superficial.

El ejemplo de los sistemas radicales ramificados y pivotantes de las gramíneas y leguminosas respectivamente o la asociación de ambas, sembrados después de cultivos de raíces superficiales como la papa u otros cultivos hortícolas es un ejemplo de esa alternancia.

3.- Características de los suelos y su abastecimiento de agua.

Los tipos de suelos, su fertilidad natural, teniendo en cuenta sus reservas de nutrientes y el contenido de materia orgánica, variables según el uso y el manejo que se le haya dado, se

deberá tener en cuenta a la hora de seleccionar la secuencia de cultivos de la rotación, lo que determinará el cultivo principal o cabeza de rotación. Por lo que la rotación escogida conserve y mejore los suelos bajo explotación mediante proyectos de agricultura sostenible aplicando medidas agrotécnicas reconocidas, como materia orgánica del tipo que mejor se acomode al lugar y puede incluir abonos verdes.

4.- Necesidad de flexibilidad en el programa de rotación.

Esta no deberá ser rígida sino que debe variar de acuerdo con la planificación de la producción que se realice, los intereses económicos y las demandas del mercado local. Esta producción de alimentos energéticos, proteicos, y vitamínicos debe ser máxima con el mínimo de insumos tanto en la producción por superficie como por hombre sin deterioro del medio ambiente. Pudiendo cambiar en función de los intereses de los productores y el mercado.

5.- Medidas para el tratamiento de la fertilidad y para el control de malezas, insectos y enfermedades.

Bien manejado puede constituir además de un buen balance de la nutrición (reciclaje) y entrada al sistema de materia orgánica, un control de las malezas, plagas, enfermedades y nemátodos, al romper los ciclos de desarrollo de las mismas, al no ser hospederas de plagas y vectores de enfermedades que afectan al cultivo sucesor.

6.- Distribución de la mano de obra y necesidad de equipos por unidades de producción.

La distribución de la fuerza de trabajo y los equipos se planificarán de acuerdo con los cultivos que se van a establecer en la rotación, lo que permitirá un mejor balance a la hora de contratar mano de obra y empleo de equipos e implementos de trabajo.

7.- Eficiencia económica del área durante todo el período de rotación.

Como se dijo anteriormente en relación con la flexibilidad de la rotación, esta debe arrojar siempre un índice equivalente de la tierra (IET) máximo, el que representa el área relativa de tierra cultivada en unicultivo que se necesita para obtener la misma producción que en asociación. El IET se asume para expresar las ventajas de los sistemas de cultivo respecto a los unicultivos.

6.3. Uso y manejo de los abonos verdes.

El abono verde se define como aquel cultivo que se siembra con el objetivo de obtener o producir materia vegetal (biomasa) para ser incorporada al suelo o para dejarlo en cobertura permanente (cultivo de cobertura). Las Mejoras que se le atribuyen son:

- Enriquecimiento en humus de los suelos.
- Protección del suelo.
- Activación de la vida microbiana.
- Reducción de malezas y los costos de limpieza.
- Reducción de enfermedades y plagas.
- Acción sobre la dinámica de los elementos fertilizantes.
- Conservación de la humedad si se deja semienterrado o en cobertura.

Los suelos donde se va a utilizar el abono verde deben ser, en primera instancia, suelos donde:

- Los tenores de materia orgánica estén bajos.
- Las propiedades físicas se presenten desfavorables.
- La actividad biológica se vea reducida.
- Síntomas de degradación (deterioro físico, químico o biológico)
- Costras superficiales.
- Horizontes compactos.

Lugar del abono verde en la rotación.

- Puede ocupar un lugar entre dos cultivos (se considera en ese caso como un cultivo inter cosecha o intercalado).
- Puede ser un cultivo solo (se utiliza como tal en tierras ya degradadas, barbecho dirigido).
- Asociado una parte del año a cultivos económicos.

Se utilizan fundamentalmente especies de las familias siguientes: Leguminosas (Canavalia, Mucuna o Frijol de Terciopelo, Vigna, Dolichos, Crotalaria, etc.)

- Gramíneas (Sorgo de grano o forrajero conocidos como millo u otras gramíneas utilizadas con tal fin).
- Crucíferas (en menor grado).

Las cualidades requeridas para escoger las especies de abonos verdes (según CIDICCO, 1997) son:

a) Para sistemas de cultivos perennes (café, cítricos, guayaba, aguacate, etc).

Que sea fácil y rápido para establecerse.

Que controle la maleza.

Que cubra completamente el suelo.

Que crezca lentamente en relación al cultivo principal.

Que deje de crecer al bajar la humedad del suelo, pero sobreviva a estaciones de sequías prolongadas.

b) Para sistemas de cultivos anuales.

Que sea de rápido establecimiento y de bajo costo.

Que produzca semillas o material vegetativo (biomasa) en grandes cantidades.

Que cubra el área rápidamente.

Que sea fácil de eliminar.

Que promueva mayor penetración de las raíces del cultivo principal.

Que acumule nutrientes rápidamente.

Que libere lentamente los nutrientes, sincronizado con la toma de los mismos por el cultivo principal.

La débil incidencia húmica de los abonos verdes se debe a una falta de envejecimiento de los tejidos vegetales (tenores de lignina). Mientras más joven se entierre el abono

verde actuará como un fertilizante orgánico (y no como enmendante húmico). Si es posible esperar el endurecimiento de los tejidos y su lignificación, entonces el efecto "**fertilizante**" desaparecerá ante el efecto "**humus**".

La alta fermentación de la mayoría de los abonos verdes conlleva a tomar precauciones particulares en el momento de su enterramiento, si desea evitar los accidentes de gleyificación. Aún más que para las otras fuentes de abonos orgánicos, debe velarse por evitar la falta de aire en su descomposición bajo tierra.

El volumen de biomasa producida por los abonos verdes depende de:

- La especie a cultivar.
- Las condiciones climáticas.
- La fertilización.
- El ciclo del cultivo (duración de la vegetación).
- El agua (la lluvia) y la fertilización determinan el tonelaje de biomasa a producir.
- El grado de lignificación depende de la especie y del estado vegetativo en que se enterró.

Esto a su vez define la interrelación de los factores siguientes:

- a) Clima del año.
- b) Naturaleza de los cultivos que preceden y suceden.
- c) La decisión del agricultor.

Resumen de beneficios.

Los abonos verdes aumentan las ganancias de los agricultores. La reducción de los costos por fertilizantes, limpieza o chapea y labranza, significa que los agricultores que usan abonos verdes aumentan sus ingresos. Además, el incremento en la fertilidad y en la eficiencia de los fertilizantes, combinado con la reducción en las malezas y enfermedades así como con una mejor disponibilidad del agua, a menudo incrementan las cosechas del cultivo sucesor, aumentando así los ingresos de los agricultores, CIDICCO, (1997).

6.4. Balance de los nutrientes.

6.4.1. Nutrientes esenciales y su movimiento en el suelo.

Existen 16 nutrientes que se consideran esenciales para el desarrollo vegetal (Figura 7)

Un nutriente es esencial para una planta cuando cumple con las siguientes tres condiciones:

- a) Su ausencia reduce drásticamente el crecimiento.
- b) Su ausencia produce síntomas visuales.
- c) Los síntomas son superables con el suministro del nutriente.

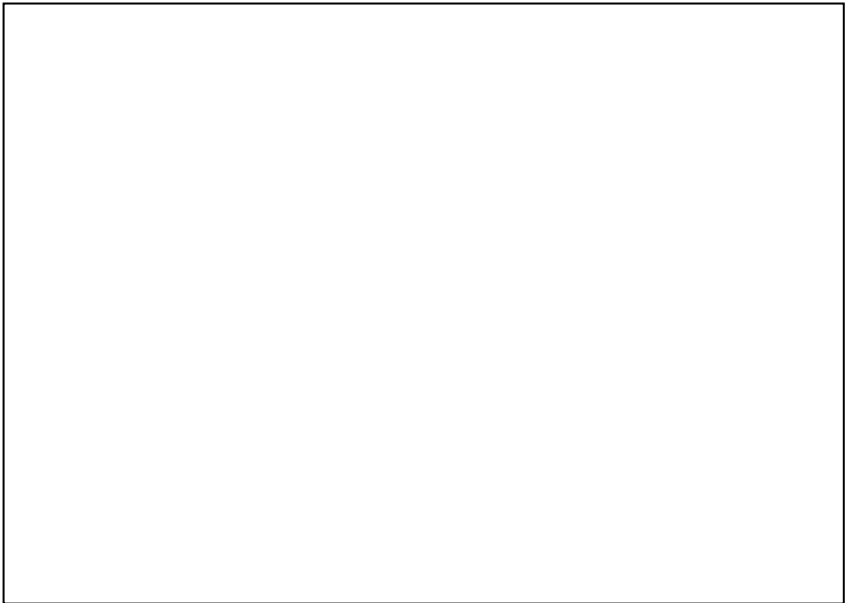


Figura 7. Nutrientes esenciales para las plantas, según Floria Bertsch, (1995)

Los nutrientes que la planta utiliza en mayor cantidad, C, H, O, los obtiene principalmente del aire y del agua, aunque

puede tomarlos también del suelo a partir del CO_2 disuelto en el agua, de los OH, de los carbonatos, etc.

Según Floria Bertsch, (1995) del suelo la planta absorbe como elementos mayores, o sea, en grandes cantidades, el N y el K. Aunque el P generalmente se incluye dentro de este grupo de mayores porque se aplica en grandes cantidades, no es en realidad consumido por la planta en gran magnitud, sino que su uso a partir del suelo resulta muy ineficiente. El N además, puede ser fijado biológicamente a partir de la atmósfera por algunas bacterias que se asocian a las plantas.

Elementos medios se consideran el Ca, el Mg y el S, y como elementos esenciales en pequeñas cantidades, o sea, clasificados como oligoelementos o micronutrientes, están: Fe, Mn, Zn, Cu, B, MO y Cl. Recientemente se ha incorporado a esta lista el Ni. También, por supuesto, la gran mayoría de estos elementos son susceptibles de absorberse foliarmente, si le son suministrados a la planta por esa vía.

Entre las funciones que realizan los nutrientes en la planta están las siguientes:

Nitrógeno (N): es esencial para el crecimiento de las plantas y es necesario para la síntesis de la clorofila. Forma parte de cada célula viviente. Componente de las proteínas y de compuestos orgánicos. El 80% del aire es nitrógeno. Las plantas absorben la mayoría del N en forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-)

Fósforo (P): es esencial para el crecimiento de las plantas y no puede ser sustituido por ningún otro nutriente. Es parte elemental en compuestos proteicos de alta valencia. Influye en la formación de semillas y de raíces. Las plantas absorben la mayoría del P como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) y en menor cantidad en forma de ortofosfato secundario ($\text{H}_2\text{PO}_4^{=}$).

Potasio (K): es un nutriente esencial de las plantas. Es un regulador de la fotosíntesis y la respiración. Se le confiere una participación muy activa en la regulación osmótica e hídrica de la planta. Es importante para la síntesis de proteínas e hidratos

de carbono, influye en la firmeza de los tejidos. Es absorbido en forma iónica (K^+). A diferencia del N y el P, el no forma compuestos orgánicos en la planta. Su función principal esta relacionada fundamentalmente con muchos y variados procesos metabólicos.

Calcio (Ca): es parte fundamental en determinados compuestos, necesario en la regulación del pH.

Magnesio (Mg): es parte elemental en compuestos importantes como la clorofila.

Los micronutrientes corresponden a los elementos que las plantas absorben en menor cantidad, pero que son indispensables en los procesos vitales de las plantas. Actúan como catalizadores en muchas reacciones bioquímicas. Entre ellos se encuentran: El Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (Bo), Cinc (Zn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Silicio (Si), Sodio (Na), Cobalto (Co) y el Yodo (Yo).

Otros elementos, no esenciales pero que en algunos casos pueden ser beneficiosos para las plantas, son el Co, el Si, el Na, el Ga y el Va. Es importante señalar que para los animales el B y el Mo no resultan esenciales mientras que si lo son el Na, el Co y el I.

También, existen elementos que resultan tóxicos a las plantas. El más importante de ellos es el Al, sin embargo, hay otros metales pesados (Pb, As, Hg, por ejemplo) que dañan los tejidos. Hay que recordar que la planta, en términos generales, no es selectiva y puede absorber cualquier cosa que haya en el suelo, le sea esencial o no.

Cada nutriente tiene formas químicas particulares de absorción, algunas son catiónicas (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, y Fe) y otras aniónicas (N, P, S, B, Mo, Cl). Es importante favorecer la presencia de dichas formas en el suelo para propiciar una buena absorción. El N es el único elemento que puede absorberse tanto en forma aniónica como catiónica.

No necesariamente, las formas absorbibles son las formas metabólicamente activas dentro de la planta. En el caso

del N y el S los iones absorbidos deben transformarse a formas reducidas para actuar dentro de la planta.

La movilidad o traslocación de los nutrientes dentro de la planta tiene relación con la ubicación de los síntomas visuales que indican su deficiencia.

Para que ocurra una buena absorción de nutrientes, además de los mecanismos fisiológicos de la membrana que intervienen en la introducción de los nutrientes del suelo a la raíz, son importantes otros procesos relacionados con la forma en que los nutrientes se acercan de los diferentes puntos del suelo a la raíz.

Según Floria Bertsch, (1995), existen tres tipos de movimiento de nutrientes en el suelo: **flujo de masas, difusión e intercepción radical.**

Flujo de masas. Es el movimiento que más repercusión tiene sobre un mayor número de nutrientes, que consiste en el arrastre de los elementos con el agua que se mueve hacia la raíz por efecto de la transpiración de la planta. Al transpirar las hojas de una planta, crean un déficit o gradiente de agua en el ámbito de la raíz que establece una corriente continua de agua de diferentes puntos del suelo hacia la raíz. La cantidad de nutrientes que pueden ser movidos por esta forma depende de la concentración del elemento en la solución y de la cantidad de agua transpirada por peso de tejido. Cualquier factor que afecte la intensidad de la transpiración, modificará el flujo de masas, y por tanto la nutrición de esas plantas. Dentro de esos factores que afectan la transpiración están la presencia de agua en el suelo, la temperatura de aire, la humedad relativa, el viento, la sombra artificial, los efectos de invernadero, las corinas rompevientos, las aplicaciones de fertilizantes, y la velocidad de restitución del elemento a la solución del suelo afectan el volumen de nutrientes acercados a la raíz por el flujo.

Difusión. Es el movimiento que ocurre a través de la solución del suelo en respuesta a un gradiente de concentración del nutriente. En este caso los nutrientes se

mueven de zonas de mayor concentración (solución de suelo, especialmente si ha sido fertilizada) a zonas de menor concentración (zona cercana a la raíz, en donde por efecto de la absorción, se ha producido un déficit del elemento). La difusión depende de factores como el coeficiente químico de difusión de cada elemento, la magnitud del gradiente, la textura, la cantidad de agua presente en el suelo, la superficie de la raíz disponible ala absorción, la tortuosidad y la viscosidad del medio. Existen dos elementos, el P y el K, cuyos movimientos en el suelo están supeditados principalmente a este mecanismo, de ahí que las aplicaciones localizadas de P cobren sentido en función de elevar el gradiente.

Intercepción radical. Ocurre cuando las raíces se extienden a través del espacio poroso e intercepten los nutrientes que encuentren a su paso. Mediante este mecanismo, se estima, que la planta puede obtener un 2% de la concentración de nutrientes disponibles en el suelo, pues se asume que más o menos, del 50% del espacio poroso del suelo, corresponde el 1% al volumen ocupado por las raíces. De estas estimaciones se deriva que este mecanismo solo tiene repercusión para aquellos elementos, específicamente el Ca, que se encuentran en grandes cantidades en la fracción disponible. Otros nutrientes en que puede ser importante este proceso son el Mg, el Mn y el Zn. El resto de los nutrientes utilizan el flujo de masas para trasladarse hacia las raíces. La importancia relativa de cada mecanismo se resume en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Importancia relativa de los tres tipos de movimiento en el suelo, para los diferentes nutrientes, (según Floria Bertsch, 1995).

Flujo de masas = Agua transpirada x concentración en solución.

Intercepción radical = 1% el intercambiable.

Difusión = Total absorbible – (flujo + Intercepción radical)

6.4.1.1. Fuentes principales de nutrientes.

Dentro de los sistemas integrados de suministro de nutrientes para las plantas se encuentran diversas fuentes, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

a. Las fuentes de nutrientes minerales.

- Fertilizantes químicos.
 - . Diferentes formulaciones y portadores industriales.
 - . Portadores naturales (zeolita, carbonato de calcio, fosforita, dolomita, yeso, etc.)
- Desechos industriales (fundiciones, minerías, etc).

b. Las fuentes más conocidas de materia orgánicas son:

- Abonos de granjas (estiércoles).
- Los restos de cosechas.
- Los compostes.
- Los abonos verdes.
- La cubierta vegetal o mulch.
- Los residuales domésticos.
- Desechos de industrias fitógenas y de animales.

- Fuentes naturales (turba, Guano de murciélago).

c. Las fuentes biológicas (Biofertilizantes) más utilizadas son:

- Fijadores simbióticos del nitrógeno (Rhizobium y Bradyrhizobium)
- Fijadores asimbióticos del nitrógeno (Azotobacter y Azospirillum)
- Microorganismos solubilizadores del fósforo del suelo (Fosfórina).
- Micorrizas.
- Azolla.

d. Una fuente importante es la reserva de nutrientes de los suelos.

Se refiere a los contenidos de nutrientes que pueden generarse en los suelos en el proceso de formación, causado por los diferentes factores y activados por el manejo que de ellos haga el hombre (fertilidad química).

e. Otras fuentes son:

- Nutrientes aportados por las lluvias.
- Nutrientes aportados por las aguas de riego.
- Nutrientes aportados por la atmósfera (aire).

En la naturaleza, las fuentes orgánicas e inorgánicas, que intervienen en el reciclaje de los nutrientes, coexisten e interactúan constantemente. Estas son partes y representan estados diferentes del mismo sistema, estando sujetos a cambios y modificaciones, acelerados por la acción del hombre.

Existen puntos de vistas divergentes en relación con el reciclaje efectuado por las diferentes fuentes, que indican, cierta ignorancia, a pesar del camino avanzado en el conocimiento de los ciclos de nutrientes en la naturaleza.

El objetivo principal de la Agricultura Sostenible, por tanto, será la utilización de los nutrientes de forma que no dañe

la biodiversidad y mantenga el equilibrio de sus fuentes en la naturaleza.

6.4.2. Biofertilizantes.

El término Biofertilizantes puede definirse como aquellos preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos, ((Martínez y Hernández, 1995).

El uso de estos Biopreparados presenta las ventajas de que origina procesos rápidos, como son en general los de origen microbiano, que consumen escasa energía no renovable y que son "limpios", es decir, no contaminantes del medio ambiente. Además, los procesos se realizan en el ambiente rizosférico, en la inmediata vecindad de las raíces, y las plantas se benefician en un plazo muy breve. (Martínez y Hernández, 1995).

La mayor parte de la biota del suelo se encuentra en la Rhizosfera. La investigación actual sobre la biota microbiana y las fuentes de materia orgánica en agroecosistemas, va dirigida a descubrir cómo la producción y las transformaciones pueden ser mejor entendidas y manejadas a fin de sincronizar la liberación de nutrientes con la absorción de dichos elementos. Diversos ecólogos y agrónomos aseguran que las prácticas agrícolas que toman ventajas de la actividad microbiana del suelo son más eficientes que las prácticas convencionales desde el punto de vista de la utilización de la energía y de los nutrientes (Novo, 2002).

Los microorganismos son aplicados al suelo para desempeñar funciones específicas que beneficien los índices de productividad de las plantas, como resultado del aumento de la toma de agua y nutrientes, la fijación del Nitrógeno, la solubilización de minerales, la producción de estimuladores del crecimiento vegetal y el biocontrol de patógenos.

6.4.2.1. Mecanismos de acción de los Biofertilizantes.

- a) **Fijación de nitrógeno:** en la atmósfera que rodea cada hectárea de la superficie terrestre hay 80 000 toneladas de N_2 que no es accesible para las plantas, hasta que no es fijado por un grupo especializado de organismos vivos. Esta fijación es efectuada por dos clases de microorganismos: los que son capaces de fijar el nitrógeno por sí solos (fijación asimbiótica) y aquellos que necesitan formar una simbiosis con las raíces de plantas superiores, fundamentalmente las leguminosas y las bacterias del genero *Rhizobium* (fijación simbiótica).
- b) **Solubilizadoras de fósforo:** En muchos suelos hay elevadas cantidades de fósforo que se encuentran en formas no asimilables por las plantas. Las bacterias solubilizadoras producen ácidos orgánicos e inorgánicos que actúan sobre estos compuestos del fósforo y los transforman en formas solubles, que pueden ser tomadas por las plantas.
- c) **Estimulación del crecimiento vegetal:** las bacterias fijadoras de nitrógeno en forma asociativa (*Azotobacter*, *Azospirillum*) y las solubilizadoras de fósforo sintetizan sustancias biológicamente activas (hormonas, aminoácidos, vitaminas) que son tomadas por las plantas y actúan en determinados estadios de su desarrollo. Así, pueden estimular la floración o reducir el aborto floral, adelantar la fructificación y la maduración, incrementar el vigor de las plantas y lograr mayor número de productos agrícolas con más tamaño y peso.

- d) Efecto de las Micorrizas:** En el suelo viven un grupo de hongos filamentosos que pertenecen al Orden Glomales y que, en general, no son capaces de reproducirse por sí mismos. Estos hongos viven asociados a las raicillas de las plantas y forman una simbiosis llamada Micorrizas, tiene un componente externo, las raicillas, compuesto por numerosos filamentos que forman una red, la cual permite aumentar la absorción de los nutrientes y del agua por muy lejos que se encuentren de las raicillas. También incrementan la superficie de intercambio con otros Biofertilizantes como *Azotobacter*, *Azospirillum* o solubilizadores del fósforo y aglutinan las partículas del suelo, contribuyendo a mejorar su estructura y combatir la erosión.
- e) **Azolla:** Algunas formas de algas verde azuladas, como el alga *Anabaena*, que vive en asociación con un helecho acuático (*Azolla pinnata*), también fijan Nitrógeno. Este es un Biofertilizante que se utiliza en arroz y es exitosamente aplicado en los países asiáticos, pero no se ha extendido a otros continentes, a pesar de la efectividad demostrada en muchos años de uso en condiciones de aquellos países.

Biofertilizantes que se utilizan hoy en la producción agrícola Cubana. (Instituto de Suelos, 2003).

6.4.2.2. Fijadores simbióticos del nitrógeno (Rhizobium y Bradyrhizobium) (Instituto de Suelos)

Inoculante bacteriano obtenido por la reproducción aeróbica de bacterias de *Rhizobium sp.* de alta especificidad, cuyas cepas fueron seleccionadas de diferentes tipos de suelos cubanos, a partir de un estudio cepa-variedad vegetal.

Utilizados para leguminosas de grano y pastos:

Mani (*Arachis hypogea*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*), Soya (*Glicine max*), Vignas (*Vigna sinensis*) y Leguminosas forrajeras.

Se presentan como inoculante sólido: Bolsas de 500-750 gr. Permite biofertilizar 45 kg. de semillas.

Los Biofertilizantes a base de cepas cubanas introducidas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* específicas antes mencionados, presentan una capacidad de fijación del nitrógeno atmosférico que permite obtener entre el 50 y el 75% del nitrógeno que necesitan estos cultivos para su crecimiento y desarrollo.

Forma de presentación comercial: BIOFER-RF, AZOFERT-L y MIRTA.

6.4.2.3. Fijadores asimbióticos del nitrógeno (*Azotobacter* y *Azospirillum*)

Existen otros microorganismos capaces de fijar nitrógeno en el suelo, aunque en cantidades mucho más pequeñas y, que son bacterias de vida libre (no simbióticas o no asociativas). Unas son aerobias y necesitan la presencia de oxígeno para desarrollarse. Otras son anaerobias, como los géneros *Klebsiella* y *Bacillus*, y no lo necesitan.

La cantidad de nitrógeno fijada por estos microorganismos no simbióticos no es tan alta como la fijada simbióticamente, más bien, las estimaciones que se han hecho indican niveles bajos para los diferentes ecosistemas, por lo que las contribuciones de N a los cultivos por este proceso no son tan grandes.

Ejemplo de algunos preparados cubanos.

DIMARGON: Estimulador del crecimiento vegetal, del enraizamiento y fijador de Nitrógeno. (producido en el **INIFAT**)

- Inoculante bacteriano obtenido por la reproducción aeróbica del *Azotobacter chroococcum*.
- Contiene sustancias bioactivas como vitaminas, aminoácidos, auxinas, giberelinas, citoquininas, etc.

Bioestín. Se utiliza en hortalizas, frutales, algodón, papa y viandas tropicales.

Oniobiostin. Se utiliza en cebolla, ajo y col.

Azotoriza. Gramíneas y plátano.

Inoculante líquido. 20 L.ha⁻¹, concentrado: 1 L.ha⁻¹

Inoculante sólido: 1kg.ha⁻¹

- Permite disminuir la fertilización mineral nitrogenada hasta un 50%.
- Incrementa los rendimientos entre un 5 y un 10%.

Azospirillum (ICIDCA) y Azofert – gramíneas (INCA).

Fijador de Nitrógeno y productor de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal. Inoculantes bacterianos obtenidos por la reproducción aeróbica de *Azospirillum brasilense*, aislado de la Rhizosfera de diferentes cultivos.

- Sólido en soporte de turba o cachaza. Para impregnación o recubrimiento de semillas : arroz, maíz, sorgo, hortalizas, etc. Dosis: 0.5-5.0 kg.ha⁻¹
- Polvo humedecible asperjable: Todo tipo de cultivo.
- Dosis de 10⁷ ufc . ha⁻¹

Forma de presentación comercial. Inoculante Azospirillum (ICIDCA).

Azofert – gramíneas (INCA).

6.4.2.4. Microorganismos solubilizadores del fósforo del suelo.

FOSFÓRINA. (Instituto de Suelos, 2003 y Bach et al., 2003)

- Inoculante bacteriano obtenido por la reproducción aeróbica de Rizobacterias capaces de solubilizar el fósforo insoluble, mineral y/o orgánico, presentes en los suelos.

- Produce sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal (auxinas giberelinas y citoquininas).
- Produce antibióticos y sideróforos.

Aplicable a todo tipo de cultivo.

- Inoculante líquido: Imbibición de semillas (1 lt a 5kg de semillas), remojo de raíces y aspersion al suelo (20 lts.ha⁻¹)
- Inoculante sólido: Diferentes dosis que garantizan la inoculación de al menos 10⁶ células. semillas⁻¹

Permite disminuir la fertilización mineral fosfórica entre un 10 y un 75%, en dependencia del tipo de suelo y de los contenidos de P asimilable y P total. Incrementa los rendimientos entre un 5 y un 10%.

Desarrolla mecanismos en la planta que favorecen la resistencia contra plagas y enfermedades

6.4.2.5. Micorrizas.

Los hongos micorrízicos arbusculares, presentes en cerca del 80% de los cultivos agrícolas constituyen uno de los Biofertilizantes que deben ser considerados en el diseño de los diferentes sistemas agrícolas, pues además de ser componentes inseparables de los agroecosistemas, con diferentes funciones en las plantas, pueden constituir sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales (Johnson *et al.*, 1992). La inoculación de las plantas con hongos micorrízicos provoca, de forma general, un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes tales como: P,N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, B y Mo (Koide, 2000).

Papel de las Micorrizas en los ecosistemas, según Rieras, (2003).

- Incrementan el abastecimiento de nutrientes para las plantas por la exploración de un volumen mayor de suelo.

- Incrementan el abastecimiento de nutrientes por la absorción de formas de elementos que normalmente no están asimilables por las plantas.
- Algunas especies tienen capacidad de descomponer compuestos fenólicos en suelos, lo que pueden interferir la absorción de nutrientes.
- Su colonización proporciona protección a las plantas contra hongos parásitos y nemátodos.
- Se han reportado beneficios no nutricionales a las plantas debido a cambios positivos en las relaciones hídricas, niveles de fitohormonas, asimilación de carbono, etc.
- Las hifas constituyen conductos por donde se transportan compuestos carbonados desde las raíces de las plantas hacia otros organismos del suelo que están involucrados en los procesos del reciclado de nutrientes, cooperando con otros organismos en la descomposición.
- Los componentes estructurales de estos hongos constituyen una fuente de alimento para invertebrados y otros organismos del suelo.
- Las hifas contribuyen al mejoramiento de la estructura del suelo, por su acción mecánica sobre la agregación.
- Contribuyen al almacenaje del carbono en el suelo al alterar positivamente la calidad y cantidad de la materia orgánica.

Primavesi (1990) señala que la diversidad de la microflora del suelo se consigue con la rotación de cultivos. Mientras que Johnson *et al.*, (1991) mantienen la hipótesis de que las comunidades de hongos en el suelo cambian durante las sucesiones de cultivo y que esos cambios están relacionados con la especie de planta que reemplaza y los niveles de nutrientes. Además, plantean que hay una estrecha relación sucesional entre las propiedades del suelo, la productividad de las plantas y la densidad micorrizada medida por la colonización y el conteo total de esporas.

6.4.2.6. Bioestimuladores del crecimiento.

Sustancias Bioestimuladoras. Bioproductos obtenidos a partir de metabolitos secundarios de microorganismos. (ICIDCA).

BIOINDOL (AIA). Acido indolacético: a partir de la reproducción de *Rhizobium sp.* que induce el desarrollo de la raíz.

ACIDO JASMÓNICO (AJ). Metabolito producido por hongos del género *Botryodiplodia* y presenta un alto espectro de aplicación en la agricultura

Inoculante líquido libre de células. Dosis: 60-100 ppm. ha⁻¹

IMPACTO. El Precio de los bioestimuladores en el mercado internacional alcanza hasta 400 USD. g⁻¹. Costo de producción en Cuba hasta 100 CUC g⁻¹

Cuadro 3. Otros inoculantes microbianos en desarrollo en Cuba.



Acciones: 1- Fijador de Nitrógeno, 2- solubilizador de Fósforo, 3- productor de antibióticos, 4- productor de sideróforos, 5- potenciador de nutrientes y 6- estimulador del crecimiento.

6.4.2.7. Introducción de los Microorganismos Biofertilizantes en el suelo.

Como se ha dicho antes, los microorganismos con características de Biofertilizantes desarrollan sus funciones beneficiosas en la zona rizosférica de las plantas, en estrecha interrelación con las raíces. La introducción de microorganismos en el suelo no es otra cosa que la manipulación de la Rhizosfera para estimular los efectos beneficiosos que los microorganismos provocan en las plantas (fijación de N, solubilización del P, estimulación del crecimiento vegetal, Antibiosis) en relación con los no beneficiosos (infección por patógenos, fitotoxicidad y otros). (Martínez Viera, 2003).

Los factores principales que influyen en el éxito de la inoculación están relacionados con la supervivencia del microorganismo en el material portador y con la efectividad de la cepa seleccionada, que se determina por el rendimiento de los cultivos. En el caso de las bacterias fijadoras de Nitrógeno, que están ampliamente distribuidas en el suelo, aunque en bajas poblaciones o en poblaciones ineficientes, las prácticas de inoculación solo pueden tener éxito si se introducen cepas seleccionadas que sean capaces de competir con los fijadores nativos y con la microflora general del suelo para lograr establecerse en la Rhizosfera.

Las bolsas que contienen el portador esterilizado (turba u otra materia orgánica probada) se inocula con un cultivo fresco del microorganismo hasta alcanzar 50 – 60 % de humedad y se almacena durante 10 –15 días en un lugar limpio para que se multiplique; este proceso se llama maduración de inóculo y finaliza cuando se ha comprobado que la población de bacterias es suficientemente elevada. Las bolsas son almacenadas a temperatura ambiente y mantienen

la viabilidad durante 6 meses si han sido preparadas con la técnica adecuada.

La inoculación de las semillas se realiza aplicando dentro de la bolsa una sustancia adherente (goma arábiga, metilcelulosa) que se mezcla bien con las semillas; posteriormente se aplica a la bolsa el inoculante y se revuelve bien toda la mezcla. Las semillas se cubren de esta manera con el inóculo y así se siembra. En el caso de las hortalizas, que tienen semillas muy pequeñas que no pueden someterse a esta técnica, se aplica el inóculo líquido o el preparado a base de turba molida como talco sobre el surco en el momento de la siembra, usando una asperjadora.

El número de bacterias viables por semilla para obtener resultados satisfactorios varía en una escala amplia, según las condiciones y la naturaleza de la especie vegetal. Nunca deben ser inferiores a 100 el número de microorganismos sobre la semilla y se considera que, para ser efectiva la aplicación, debe haber entre 100 y 1000 bacterias. Cuando hay competencia severa por otros microorganismos ya establecido en el suelo, son necesarios entre 10 000 y 100 000 células/semilla.

6.4.3. Criterios para fertilizar.

La decisión de fertilizar, la selección del tipo de fertilizante que se debe aplicar, y la determinación de la cantidad y el momento de aplicación, depende de:

- La fertilidad actual del suelo determinada mediante el análisis químico.
- El sistema de cultivo: especialmente en lo referente a la técnica de preparación, siembra y tipo de cultivo.
- El uso del riego: donde no se dispone de agua para el riego y las lluvias son escasas o erráticas, la respuesta a la fertilización será diferente. En seco se necesitan menos nutrientes que bajo riego.

Otros factores que intervienen son (Figura 8):

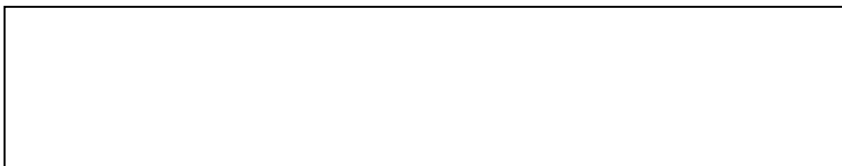


Figura 8. Factores que influyen en la fertilización.

Los criterios para fertilizar según Flor, (1985) establecen que:

a.- La cantidad de nutrientes que tiene el suelo basado en la densidad aparente del suelo. Convencionalmente se calculan los contenidos de nutrientes a la densidad aparente (Da) 1.0, pero si esta varia cambia la cantidad.

b.- Los requerimientos nutricionales del cultivo deben determinarse con estudios locales de absorción de nutrientes durante la etapa de desarrollo de la planta.

Para tomar la decisión de fertilizar se recomienda respecto al fósforo, potasio, calcio (como nutriente), magnesio y micronutrientes el siguiente procedimiento:

Primera situación.

Segunda Situación.

c.- La eficiencia del fertilizante en función del suelo debe determinarse en cada sitio. En general, los fertilizantes nitrogenados y potásicos tienen una eficiencia del 50 % y los fosfatados del 12 al 20 %.

Por tanto, cuando se tiene decisión positiva para fertilizar:



Hay necesidad ahora de calcular la cantidad real (C) de nutrientes que se debe agregar teniendo en cuenta:

- a) El porcentaje de nutriente que tiene la fuente de fertilizante escogida.
- b) La eficiencia del fertilizante en función del suelo.

6.4.3.1. Métodos de fertilización.

Fertilizar es el proceso mediante el cual se adicionan o suministran nutrientes, en particular con fertilizantes minerales, al suelo para el desarrollo normal de un cultivo o sistemas de cultivos.

Las cantidades y número de nutrientes los determina el agricultor por su propia experiencia, o a través de los resultados del análisis químico de muestreos de suelos de los terrenos para cultivar.

6.4.3.2. Principios que deben ser considerados cuando se vaya a fertilizar.

- Resultados experimentales de la nutrición del cultivo a fertilizar.
- Análisis de suelo mediante un denso muestreo a escala detallada.
- Análisis foliar.
- Características de los suelos, desde el punto de vista de la dinámica de los nutrientes.
- Rendimientos esperados.
- Condiciones de riego o seco.
- Condiciones climáticas de cada región.
- Problemática de los fertilizantes: disponibilidad, industria, transporte, almacenamiento y aplicación.
- Organización agraria.
- Aspectos económicos diversos.

6.5. Restablecer mediante estimulación, la actividad biológica del suelo.

La fauna del suelo representa 500 a 1000 Kg. de materia viviente por hectárea. En total estos animales incrementan la permeabilidad y la porosidad del suelo y aseguran así de manera natural una estructura conveniente. Su proliferación depende de ciertas condiciones del medio, pH, carbonatos de calcio y sobre todo de materia orgánica fresca. Lo que a su vez esta condicionado por:

- a) El fraccionamiento de estos desechos vegetales frescos, el abastecimiento en microorganismos y su mezcla con la materia mineral son producidos después del paso a través del tubo digestivo de los animales del suelo, a veces artesanos de la estructura.
- b) Ciertos aportes de materia orgánicas (raíces de plantas cultivadas y en particular de pastos) intervienen directamente en la creación de una estructura favorable.
- c) La microflora del suelo depende de los aportes de materia orgánica fresca. Las poblaciones microbianas son capaces de multiplicarse o de desaparecer brutalmente según la presencia o ausencia de los metabolitos nutritivos indispensables.

d) El humus tendrá, según diversos autores, un efecto estimulante al desarrollo de la vegetación.

La vida de las plantas no esta desligada del suelo es así que ya no se ve el suelo tan sólo como el elemento que sostiene a la planta, sino como elemento interactuante para su desarrollo. De seguir perdiendo el suelo su biodiversidad, que es lo que esta sucediendo con la agricultura convencional, se agravarían los desequilibrios ecológicos ya existentes dentro de mismo, se perdería la fauna y flora macro y microbiana, el problema de las plagas y enfermedades se acrecentaría y estaríamos ganando suelos descubiertos y pobres para la producción agrícola (suelos degradados).

6.6. Los sistemas de labranza de conservación. Los objetivos de la labranza según Henin, (1973) son:

1. Destrucción de la vegetación adventicia y en cierta medida luchar contra el mantenimiento o proliferación de los parásitos (nemátodos).
2. Incorporación y mezcla a la masa del suelo de los residuos de los cultivos, de las enmiendas y de los abonos orgánicos o minerales.
3. Control de la circulación del agua en el suelo y en particular, el aumento de la infiltración de las lluvias y la escorrentía del agua excedente.
4. Creación de un estado estructural favorable a la germinación de las semillas, a la instalación y al buen funcionamiento del sistema radical de los cultivos.

La estructura que se busca con las labranzas no es más que el estado de mullición óptimo, que la naturaleza de manera espontánea y natural, puede presentar, pero que el hombre la fuerza para lograrla, mediante un sistema de máquinas e implementos, donde se tiene en cuenta la textura, la estructura, la estabilidad estructural, así como la porosidad y la permeabilidad de los diferentes suelos que se pretenden trabajar. Por tanto, el estado del suelo coherente o

plástico, derivado del grado de humedad que presente es el punto de partida para la preparación del mismo. El estado óptimo para la preparación (b) es aquel en el que el suelo estalla o se desagrega lo más cerca posible a la condición natural de ese suelo. Existen para ello curvas de humedad, donde se miden los estados para cada tipo de suelo, (figura 9).

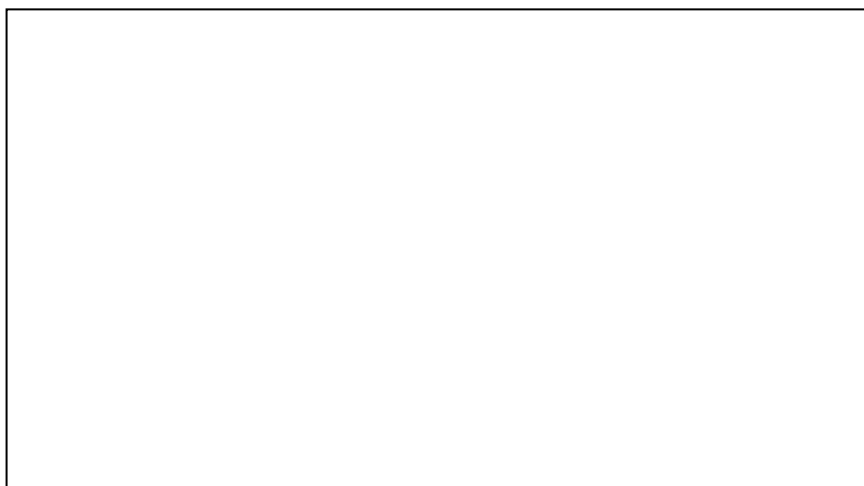


Figura 9. Variación de la humedad y la cohesión en función de la humedad.

Para los defensores de la Agricultura Sostenible, los sistemas apropiados de labranzas tienen suelos y cultivos específicos. Su adaptación es gobernada por factores biofísicos y socioeconómicos. Además, para aumentar la producción de los cultivos los métodos de labranzas deben facilitar también:

- la conservación del suelo y el agua,
- mejorar el sistema de desarrollo de la raíz,

- mantener un favorable nivel de materia orgánica en el suelo y
- tendencia a disminuir la degradación de la biota del suelo.

Componentes importantes o subsistemas de sistemas de conservación efectiva; las labranzas incluyen, el cubrimiento de plantas con estiércol y paja, sistemas reducidos de labranzas, cultivos de coberturas, manejo de rastrojos, agroforestería etc. Los límites ecológicos para aplicar estos componentes o subsistemas difieren ampliamente. Los esfuerzos de un equipo multidisciplinario son necesarios para desarrollar los métodos de labranzas, en un lugar específico y para llevar a cabo objetivos en períodos cortos o largos de Agricultura Sostenible.

6.6.1. Principios básicos para las labranzas.

PRIMER PRINCIPIO. "No hay recetas".

Los esquemas de preparación deben tomarse con cautela, conocer el suelo y utilizar el sistema de preparación más conveniente. No temer romper esquemas.

SEGUNDO PRINCIPIO. "El camino más simple".

Buscar siempre la preparación más simple con el menor número de pases y teniendo en cuenta para qué cultivo se prepara el suelo.

TERCER PRINCIPIO. "No obligar al medio".

La fragilidad (estabilidad estructural) y la tendencia a retener el agua, son para el suelo, los dos factores esenciales para tomar una decisión.

CUARTO PRINCIPIO. "Contar con la ayuda de los factores naturales".

Es necesario conocer los factores climáticos, dejar el suelo que madure después de una labor bajo la acción del sol y de la alternancia humedad-deseccación, la acción de la fauna del suelo y por tanto, no abusar de los tractores e implementos potentes.

QUINTO PRINCIPIO. "Selección de los útiles de trabajo".

Buscar los implementos y máquinas más adaptables a las condiciones del suelo que se va a arar, teniendo en cuenta los costos y el cultivo que se va a implantar. Sólo las grandes empresas pueden tener todo tipo de sistemas de máquinas e implementos.

6.6.2. Tipos de labranzas.

Como labor se define el cortar y voltear la tierra que, en el curso de la operación, puede encontrarse más o menos dividida.

Los tipos de instrumentos utilizados son:

a.- Los arados clásicos de rejas y vertederas.

b.- Los arados de discos.

c.- El Multiarado (Cuba). Estos pueden ser movidos por tracción animal o mecánica.

Los tipos de labranzas pueden ser:

a.- Labranza limpia.

Son sistemas de preparaciones orientadas a eliminar, mediante sucesivos pases de implementos variados, todos los residuos y a evitar que crezca cualquier vegetación que no sea la cultivada.

Los residuos se cubren generalmente mediante una labor de volteo, con arados de rejas, arado de discos o gradas de discos y luego incorporados de nuevo con las labores posteriores, de manera que haya pocos o ningún residuo cuando se vaya a sembrar el cultivo siguiente.

Sistema de preparación que comienza a ser abandonado por su efecto negativo (contribuye al deterioro de la estructura) y en pendiente favorecen la erosión.

b.- Labranza de conservación.

Aunque tiene su verdadero origen en Egipto, hace 6000 años los egipcios preparaban el suelo sin invertir el prisma. Esta surge en la década del 40 en los EEUU, como medida antierosiva, debido a los desastres producidos por la erosión eólica e hídrica. Estos sistemas tienen como principio que "

todo tipo de labranza que se realice conlleva al mantenimiento de las coberturas de rastrojos en la superficie del terreno”. La labranza de este tipo es adaptable a todo tipo de suelo, pendiente, siendo precisamente en las topografías más accidentadas donde se prefiere dejar el mayor volumen de rastrojos o coberturas. De igual forma, la estación climática determina la conveniencia de dejar mayor o menor cobertura. En primavera se necesita mayor cobertura, para proteger el suelo del efecto golpeante de las gotas de lluvia y en seca puede ser menor.

Los implementos que se utilizan para producir este efecto son:

Subsoladores de azadas de alas.

1. Los extirpadores de barras giratorias con pequeñas azadas de alas.
2. Los implementos de cuchillas rectas.
3. Los arados de rejas (araduras abiertas).
4. Las gradas de discos (sólo utilizables cuando hay gran cantidad de vegetación).
5. El Multiarado.

c.- La labranza mínima o reducida.

Esta se basa fundamentalmente en la cantidad de malezas que existe en la superficie, lo que permite reducir labores y equipos. Al combinarlos con herbicidas permite reducir aún más las labores. Al igual que el anterior sistema, facilita la conservación del suelo y del agua. Esta tecnología surge también en la década del 40 y toma su mayor auge en la década del 70 en los EEUU.

d.- La labranza sin inversión del prisma.

Muy vinculada a las dos anteriores, ésta consiste en el uso de subsoladores, drenajes topos, o simplemente cultivadores, el chisel y sus derivados (EEUU). Con todos ellos se puede trabajar la tierra sin invertir el prisma, controlan las malezas en superficie y mullen el suelo para el cultivo. El Multiarado puede participar, por su versatilidad en este sistema y en los dos anteriores.

e.- Las cuasi labores.

Se llama así a las operaciones culturales capaces en ciertos casos de sustituir una labor que no incluya el volteo de la tierra, sino que provoca mullido. Tienen por objeto completar las labores de preparación.

Dentro de estos aperos se encuentran:

- 1. Aperos de rejas {
 - Cultivadores {
 - Extirpadores
 - Escarificadores
 - Arados (gradas cortadoras niveladoras, rejas)
- 2. Aperos de discos {
 - Inversión parcial (son arados rastrojeros)
 - Las típicas gradas de discos (no penetran profundamente sino que atacan horizontalmente cuando avanzan)
- 3. Aperos por arrastres {
 - La fresadora
 - Cultivadora rotativa
- 4.-Aperos con piezas activas movidas por motor (el rotovator).
- 5.- Las azadas rotativas.

f.- La no labranza, es un método de siembra que no requiere ninguna preparación de cama de siembra, con excepción de una inyección de nutrientes y un método para abrir el suelo y colocar la semilla a la profundidad deseada. Generalmente se incluye un disco acanalado frente a la sembradora, y el ensamblaje de dos discos para abrir el surco y colocar la semilla. Este método posteriormente dio lugar a la Agricultura de Conservación de la que se hablará más adelante.

g.- La labranza cero.

Llamada también eco barbecho, barbecho químico, y otras expresiones según la Sociedad de Suelos de los EEUU. Es un método de siembra que no conlleva a más preparación de la superficie que la apertura del suelo para colocar la semilla, se apoya en el uso de herbicidas. Las corrientes ecologistas actuales la cuestionan por el hecho de utilizar productos agroquímicos y contaminar el suelo e influir sobre la composición de la biota del suelo.

6.7. Cultivos de cobertura o agricultura de conservación.

Según Paneque *et al.*, (2002), en Brazil en los últimos 30 años se viene utilizando la cero labranza, al principio con el objetivo de conservar el suelo y controlar la erosión, aunque se ha demostrado, hoy en día, que es mucho más que un método de conservación de suelo. Este sistema ha contribuido a la búsqueda de una Agricultura Sustentable, que mantenga altas producciones sin dañar el suelo ni el ambiente.

La agricultura conservacionista no es solo cero labranza, aunque es una característica esencial de esta, pero su simple aplicación no significa que este implantada, ya que la rotación de cultivos, el mantenimiento del suelo cubierto con materiales vegetales vivos o muertos sobre la superficie, la siembra directa a través de esas cobertura, usando sembradora o a mano, alternar cultivos de raíces superficiales esenciales con especies de raíces profundas,

son características esenciales de la Agricultura Conservacionista.

6.7.1. Principios básicos de la agricultura de conservación.

1. Maximizar la producción de la materia orgánica.
2. mantener el suelo cubierto.
3. Usar labranza cero.
4. Mantener la diversidad biológica.
5. Alimentar las plantas a través de la cobertura muerta.

Estos 5 principios disfrutan de una buena sinergia. Por ejemplo, si se van a alimentar las plantas a través de los mulches , seguramente no se puede arar los campos. No obstante, la relación más importante entre estos principios radica precisamente en lo que lleva más tiempo deducir, los mismos describen muy bien la manera en que funciona un bosque tropical húmedo. **Para que la agricultura del trópico húmedo sea altamente productiva, así como, sostenible, debe imitarse el bosque del trópico húmedo, que también ha sido altamente productivo durante millones de años.**

Los principios anteriores significan que se van a tener que desarrollar sistemas agrícolas totalmente diferentes a los que han tratado de obtener los agrónomos durante tantos años, para la “transferencia” desde las naciones con temperaturas templadas.

6.8. Conocer el régimen hídrico para evitar el deterioro de la estructura.

La absorción del agua y de los elementos minerales por las raíces se rige por la estrecha dependencia de la actividad de las partes aéreas y del grado de humedad del medio. Es pues importante seguir la evolución de las reservas y del movimiento del agua en el suelo. El comportamiento hídrico del suelo está reglado por:

- La cantidad de agua infiltrada que penetra en el suelo.

- La dinámica del agua en los horizontes y los fenómenos de ascenso capilar.
- La importancia de la succión radical y la evapotranspiración de la planta.

Partiendo de los estudios del comportamiento hídrico del suelo en relación con los diferentes enraizamientos Jaillard et Luc, (1979) citados por Callot *et al.*, (1982), han definido tres horizontes hídricos:

1. Horizonte de superficie con fuertes variaciones en los contenidos de agua, directamente sometido a las condiciones meteorológicas.

2. Horizonte intermediario con tendencia estacionaria más o menos acentuada, donde la actividad radical condiciona las variaciones del régimen hídrico.

3. Horizonte profundo no presenta variaciones que revelen cambios en los tenores de agua en el suelo, en el curso del año, alimentados por las capas próximas del substrato geológico gracias a los fenómenos de ascenso capilar y movimientos laterales.

En el **horizonte de superficie** el suelo presenta una buena actividad biológica, con una riqueza relativa de materia orgánica. La cabellera radical es siempre muy intensa, pero las variaciones del comportamiento hídrico quedan bajo la dependencia del factor climático. En este horizonte, también llamado **horizonte climático** los fenómenos de humectación y de desecación son rápidos y frecuentes. Es en esta capa superior del suelo donde la extracción radical es más importante, al menos para las plantas anuales.

Por el contrario, en el **Horizonte intermediario** las variaciones son más dependientes de la extracción radical, por lo tanto más directamente ligada al funcionamiento de la planta, en ausencia de irrigación natural. Es pues en este nivel que las interacciones suelo - raíz serán las más importantes, por lo que este horizonte es también llamado **horizonte radical**, y es donde las raíces condicionan las variaciones del

régimen hídrico. Puede variar de un suelo a otro y de un campo a otro.

Los **horizontes profundos** lavados, pobres en elementos asimilables, son siempre atravesados verticalmente por gruesas raíces poco ramificadas. En los horizontes más arcillosos, bien estructurados con estructuras poliédricas, la cabellera radical se desarrolla abundantemente entre los poliedros que ellos recubren con un lazo muy denso, particularmente los que son recubiertos de arcilla. Pero estas radículas que envuelven estas microestructuras no penetran al interior de los agregados, ellas siguen de hecho la red porosa fisural. En este horizonte no se ven cambios apreciables de los contenidos de agua, en el curso de un año. Es abastecido por las capas próximas del substrato geológico gracias al fenómeno de remonta capilar o debido al movimiento lateral del agua. Este tipo de agua puede ser determinante para la alimentación hídrica de las plantas en épocas de sequías prolongadas o de cultivos de secano, por ejemplo, la caña de azúcar.

Estos elementos deben tenerse en cuenta cuando se vaya a tomar la decisión de establecer un sistema de cultivo bajo riego, aspectos que determinaran que sistema de riego es más idóneo en las condiciones de cada suelo y cual es el menos agresivo de la estructura.

7. Conclusiones.

- La sobreexplotación de la capacidad de uso de las tierras y las prácticas de manejo inadecuadas de la Agricultura Convencional han acelerado su degradación, afectado su fertilidad natural y puesto en peligro su productividad, lo que tiene su origen en factores socioeconómicos. Por lo que el manejo integrado del sistema de cultivo es el preludeo o condición esencial para el establecimiento de una Agricultura Sostenible, donde el uso, manejo y conservación del suelo juegan un papel fundamental para su éxito.

- Por lo que se tiene que partir del conocimiento y preservación de la fertilidad y la productividad de los suelos, para lo que se debe conocer como conservar y recuperar la estructura del suelo, teniendo en cuenta la posible pérdida de profundidad del suelo, pero también la pérdida de nutrientes y de materia orgánica, y el deterioro de las propiedades físicas. Debiéndose integrar, a través de medidas o prácticas agronómicas o biológicas, el control de la erosión y el mantenimiento de la fertilidad química, física y biológica del suelo.
- Se deberán ejecutar opciones de manejo que influyan en el restablecimiento de la materia orgánica (humus) de los suelos, tales como, aporte de materia orgánica como enmienda, la rotación de cultivos, el uso de abonos verdes, restablecer mediante estimulación la actividad biológica (fauna y biota) del suelo, priorizar sistemas de labranzas de conservación, introducir cultivos de coberturas con vistas a la creación de una agricultura de conservación, realizar la fertilización mediante balance de los nutrientes para evitar su acumulación priorizando el uso de Biofertilizantes como alternativa más ecológica.
- Debe tenerse en cuenta los flujos hídricos que juegan un papel determinante para asegurar la nutrición mineral de la planta. A pesar de la fuerte capacidad de absorción de las raíces, el encuentro entre los nutrientes a ser absorbidos y el sistema radical son a menudo insuficientes. Las propiedades físico-químicas de los suelos, entre otras reacciones de intercambio que se producen, hacen poco disponibles para el vegetal los elementos que pudieran estar relativamente abundantes. La satisfacción de las necesidades de un cultivo necesitan pues, una buena colonización del suelo por las raíces para aumentar la posibilidad de utilizar la reserva potencial en elementos nutrientes accesibles y la existencia de un régimen hídrico satisfactorio que favorezca el desplazamiento de los iones minerales, a partir de sistemas de riegos que no deterioren la estructura del suelo.

- Finalmente para que la agricultura del trópico húmedo sea productiva y sostenible, debe imitarse el bosque, que también ha sido altamente productivo durante millones de años, para lo que habrá que abandonar el intento de introducir tecnologías “transferencias” de países de climas templados. Lo que significa que se deberán desarrollar sistemas agrícolas totalmente diferentes y adaptados a las condiciones socioeconómicas de cada lugar.

Bibliografía consultada.

- Alfonso C.A. 1996. Curso de Agricultura Sostenible impartido en maestría de Suelos de La Universidad Veracruzana. Instituto de Suelos 77 p.
- Alfonso C.A., Calero B., Morejón L., Somoza V., Guerrero Anaely y Monedero Milagros. 1998. Rehabilitación de Ferralsols degradados por compactación del sur de la provincia de la Habana, Cuba. Proceedings 16 Congreso Mundial de Suelos. Montpellier, Agosto de 1998
- Alfonso C.A. et al. 1999. Recuperación de los suelos degradados dedicados a cultivos varios del agroecosistema del sur de la Habana. Informe final proyecto 020021 del PCT Producción de alimentos por métodos sostenibles. 42 p.
- Bach, Teresa, Ferran, J. Y Delgado Alina. 2003. Fosfórina, inoculante bacteriano Solubilizador de fósforo. Cd ron. SCCS. Instituto de Suelos. 10 p.
- Bertsch Floria. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1ra Ed. Costa Rica. San José. ACCS. 157 pp.
- Bouza H., Ronzoni C., Martinez I., Delgado R. y Alfonso C.A. 1988. Multiarado . Nuevo implemento para la preparación de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos, (Mimeografiado) 13 p. Cuba
- Callot G., Chamayou H., Maertens et Salsac L. 1982. Mieux comprendre les interactions sol- racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA 325 p.

- CIDICCO. 1997. Experiencias sobre cultivos de coberturas y abonos verdes. Editor CIDICCO. Honduras. 131 p.
- D.G.S. F, (1990): Mapa Genético de Suelos de Cuba, escala 1:25 000. Memoria XI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, La Habana, Vol. 5:1345-1347.
- Encarta 2003. 1993-2002 Microsoft Corporation.
- FAO- UNESCO. 1975. Clasificación mundial de suelos. Roma 119 p.
- FAO. 1996. Planificación y manejo integrado de cuencas hidrográficas en zona árida y semiárido de América Latina. Serie: Zonas Áridas y semiáridas N° 7. Editor FAO Santiago de Chile. 321 p.
- Flor M. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: Frijol: Investigación y producción. Referencias de los Cursos de Capacitación de frijol dictados por el CIAT. Ed. López y Fernández, PNUD/CIAT. pp. 287-312.
- Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. 2000. Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos. ED. Minag. 145 p.
- Instituto de Suelos (1999): Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Edit. AGRINFOR, Ciudad Habana, 64p.
- Instituto de Suelos. 2003. Situación y proyección de los Biofertilizantes y Bioestimulantes en Cuba. Informe al CTA del MINAG.
- Cabrer, P. y García, R. 1965. Suelos Agrícolas Cubanos. Editora Ciencia y Técnica. La Habana. 854 p.
- Henin S., Gras R. et G. Monnier. 1962. Le profil Cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed. Masson Paris. 332 p.
- Jonhson, N.C., Fleger, F.L., Crookston, R.K., Simmons, S.R. and Copeland, P.J. 1991. Vesicular- arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. New Phytol., 117:657-663.

- Jonhson, N.C., Copeland, P. J. and Pflieger, F.L. 1992. A possible explanation for yield decline associated with continuous cropping of corn and soybean. *Mycorrhiza*, 2 (4):387-390.
- Kolmans E. y Vásquez D. 1995. Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Programa Agroecológico Campesino a Campesino. Ed. Oxfm Bélgica-ANAP. 150 p.
- Lozet J. et Mathieu C. 1986. Dictionnaire de Science du Sol. Ed. Lavoisier. 269p.
- Martínez, R. y Hernández, G., 1995. Los biofertilizantes en la agricultura cubana. En: II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. ICA. Mayo, 43 - 47 pp.
- Martínez F., Calero B., Nogales R. y Rovesti L. 2003. Lombricultura. Manual Práctico. Ed. MINREX 99 p.
- Martínez Viera, R. 2003. Introducción al conocimiento sobre Biofertilizantes bacterianos. INIFAT. Cd Ron SCCS. 30 p.
- Novo, R. 2002. Los Biofertilizantes y la biofertilización. Conferencias. Curso Internacional de Microbiología del Suelo. Quito.
- Paneque R., Haroldo C. Y Rafull Elidí. 2002. Agricultura conservacionista-camino para una agricultura sustentable. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 11. No 1. 1- 5 pp.
- Pla Sentís, I. 2002. Evaluación de impactos ambientales derivados de la degradación de suelos y su relación con Cambios Climáticos. VI Escuela Latinoamericana de Física de Suelos (VI ELAFIS). UNAH. Habana . 20 p.
- Porta J., López M., Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi Prensa. Madrid. España 849 pp.
- Primavesi, A. 1990. Manejo ecológico do solo. Agricultura em regioes tropicais, Sao Paulo.
- Riera, N.M. 2003. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias

de cultivos sobre suelo Ferralítico Rojo. Tesis en opción al grado Científico de Doctor en Ciencia Agrícolas. 100 pp.