UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE PREPARATORIA AGRÍCOLA
ÁREA DE AGRONOMÍA

Módulo III. El Suelo Agrícola

Sistemas de Producción Agrícola

Sistemas
de Producción
Agrícola

Modalidad a distancia

Elías Jaime Matadamas Ortiz

Ficha descriptiva del Módulo III
El suelo agrícola

Sistemas de Producción Agrícola

Objetivos

- Conocer y analizar el concepto de suelo agrícola
- Identificar los factores de formación del suelo
- Conocer las características y propiedades del suelo
- Identificar y reconocer los procesos de degradación del suelo
- Conocer las prácticas de conservación
- Identificar los diferentes sistemas de labranza del suelo

Contenido temático	Temas
Concepto	Concepto de suelo agrícola
Propiedades y características del suelo	Génesis u origen del suelo
	Composición y estructura
	Características del suelo
Conservación del suelo	Erosión
	Prácticas de conservación
Labranza del suelo	Concepto
	Sistemas de labranza

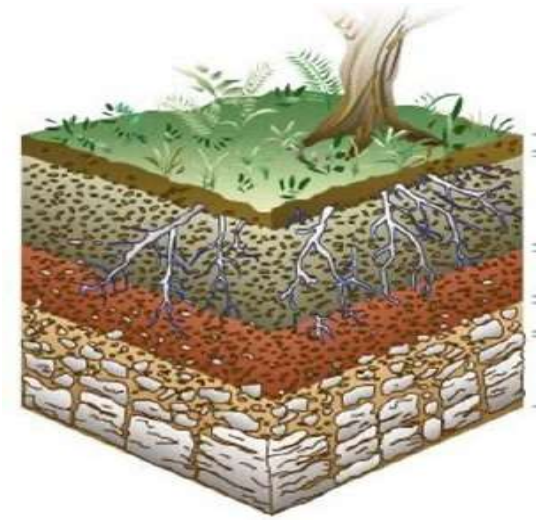
Recursos didácticos y calendarización

Sistemas de Producción Agrícola

Contenido temático	Temas	Presentaciones	Fichas temáticas	Lecturas temáticas
Concepto de suelo agrícola	Suelo agrícola	El suelo agrícola	El suelo agrícola y su origen	
Propiedades y características del suelo	Génesis u origen del suelo	El suelo agrícola	El suelo agrícola y su origen	
	Composición y estructura	El suelo agrícola	El suelo agrícola y su origen	
	Características del suelo	Características físicas del suelo	Características físicas del suelo	Problemario de las características del suelo
		Características químicas del suelo	Características químicas del suelo	Problemario de las características del suelo
		Organismos del suelo	Organismos del suelo	
		La materia orgánica en el suelo	La materia orgánica en el suelo	
Conservación del suelo	Conservación del suelo	Conservación del suelo y del agua	Conservación del suelo y del agua	Conservación del suelo
Labranza del suelo	Labranza del suelo	Labranza del suelo	Labranza del suelo	

Mapa mental
Sistemas de Producción Agrícola
EL SUELO AGRÍCOLA
PROPIEDADES
Génesis
Factores de formación
Procesos de formación
Etapas de formación
Composición y estructura
Composición
Forma y estructura
El perfil del suelo
Características
Físicas
Textura
Estructura
Densidad
Porosidad
Color
Grosor
Biológicas
Materia orgánica
Organismos
Químicas
Complejo de adsorción
Capacidad de intercambio cationico
Saturación de bases
Sodio intercambiable
pH
Salinidad
CONCEPTO
Convencional
Preliminar
Primaria
Secundaria
De cultivo
LABRANZA
No convencional
Mínima o reducida
Conservacional
Cero labranza
Tradicional
Chinampas
Roza-Tumba-Quema
CONSERVACIÓN
Conservación
Prácticas
Agronómicas
Mecánicas
Vegetativas
Erosión
Formas
Natural
Inducida
Agentes
Causas
Directas
Indirectas
Elías Jaime Matadamas Ortiz

FICHA TEMÁTICA No. 1. MÓDULO III. EL SUELO AGRÍCOLA Y SU ORIGEN.



El suelo agrícola es la capa superficial de la corteza terrestre, cuyo origen son las rocas que han sufrido transformaciones físicas, químicas y bioquímicas a lo largo del tiempo por la acción de los elementos físicos del ambiente y por los organismos vivos; y se ha estructurado en una compleja matriz sólida porosa que contiene agua y gases en forma balanceada y es capaz de albergar la vida y ser el sustrato donde se desarrollan las raíces de la plantas y el reactor biológico dentro del cual se recicla la materia y fluye la energía de manera natural por la acción de los organismos desintegradores.

El suelo es el sustrato natural que soporta la producción agrícola, es un cuerpo natural que alberga a organismos que tienen la función del reciclamiento de la materia orgánica e inorgánica y sirve como filtro para el agua subterránea. Cumple con funciones ecológicas muy importantes como la captura de CO_2 y es el depósito de importantes ciclos biogeoquímicos.

El suelo puede tener muchas utilidades y puede definirse de acuerdo con ellas. Así, para el ingeniero civil, un suelo apropiado para la edificación sería uno firme, con materiales rocosos en la superficie y con gran capacidad para soportar el peso de las construcciones.

El suelo agrícola, en contraparte, debe de tener propiedades capaces de proporcionar un medio adecuado para el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas, incluyendo su capacidad para retener humedad y drenar excesos de agua (buen drenaje); alta y permanente generación de nutrientes y capaz de mantener una alta actividad biológica.

Los suelos se originan de las rocas que sufren cambios muy importantes para finalmente dar lugar a una matriz sólida porosa donde existen las fases gaseosa y líquida de la materia. Es un cuerpo tridimensional, dinámico y vivo. Se puede considerar como un complejo reactor biológico que posee una maquinaria compuesta de poblaciones y comunidades de animales y microorganismos.

Cada suelo tiene características muy particulares resultantes de la influencia de sus **factores formadores: Material rocoso parental, clima (medio ambiente físico), organismos (animales, plantas y microorganismos), relieve** y **el tiempo**. Podemos decir que el suelo es una función de los factores formadores:

f (suelo)= {Material madre, Clima, Organismos, Relieve, Tiempo}

En un territorio relativamente grande, los suelos pueden variar de acuerdo con el predominio de sus factores formadores. De un lugar a otro, con seguridad, los suelos van a variar y, por lo tanto, su manejo tiene que ser diferente. El éxito de cualquier sistema de producción agrícola pasa por proporcionarle un manejo óptimo al suelo de acuerdo con sus particularidades.

El manejo del suelo no solo tiene un enfoque productivista, sino que también se debe considerar que éste puede sufrir degradación; entonces debemos considerar sus características para también conservarlo y que mantenga su potencial productivo con el paso del tiempo.

El material parental o material madre puede ser de muy diversa naturaleza. Las rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas le confieren al suelo un sello de origen. Por ejemplo, suelos derivados de rocas sedimentarias calizas tendrán características físicas, químicas, biológicas e hidrodinámicas muy diferentes a los suelos originados de las rocas ígneas. Lo anterior tiene que ver con el tipo de minerales primarios de las rocas y de los procesos de intemperismo.

Los elementos del tiempo y del clima son los responsables del grado y velocidad de la formación del suelo. Podríamos decir que el clima es un agente activo que actúa sobre un agente pasivo que son los minerales de las rocas. Existen tres tipos de intemperización de las rocas: **intemperismo físico, intemperismo químico e intemperismo bioquímico.**

El intemperismo bioquímico es la última etapa de formación del suelo y es ejecutado por las **raíces de las plantas, animales y microorganismos**. Los organismos del suelo suelen tener una influencia en la generación de material edáfico ya que ponen en acción un complejo arsenal de enzimas que catalizan reacciones que sin su participación tardarían millones de años en llevarse a cabo.

El relieve o topografía es la configuración física de la superficie de la corteza terrestre. Los suelos formados en lugares altos tardan mucho tiempo en desarrollarse y permanecen inmaduros ya que a medida que se va formando material edáfico, también éste puede ser removido por el agua de lluvia o por el viento y acarreado a las partes bajas donde se acumula y forma parte de suelos profundos bien desarrollados. A los primeros se les llama **suelos residuales** y a los de las partes bajas se les denomina, **suelos aluviales**.

Como producto del **tiempo**, también podemos tener **suelos jóvenes** con muy poca diferenciación de horizontes y texturas gruesas; **suelos maduros y desarrollados**, que son

suelos muy productivos y bien diferenciados y **suelos seniles o viejos**, cuya productividad es baja y sus propiedades ya agotadas.

Las etapas de la formación del suelo se pueden resumir como sigue:

- **Primera etapa.** En principio, las rocas se desintegran en fracciones cada vez más pequeñas, es decir, sufren el **intemperismo físico**.

- **Segunda etapa.** Cuando el tamaño de las partículas de roca permite una mayor velocidad de las reacciones del **intemperismo químico**; los minerales primarios se descomponen dando lugar a minerales secundarios.

- **Tercera etapa.** La intervención de las raíces de las plantas y los organismos provocan una serie de reacciones bioquímicas en los minerales primarios y secundarios existentes, acelerando la formación de material edáfico con capacidad de generación de compuestos orgánicos y nutrientes a partir del reciclamiento de la materia y un flujo dinámico de la energía. Estas reacciones están mediadas por compuestos enzimáticos que solo pueden producir los organismos vivos.

El material edáfico, al final de la tercera etapa, es muy diferente al material original consolidado de las rocas que le dieron origen.

Esencialmente **el suelo es una matriz sólida porosa**, en la que la fase sólida proviene en su mayoría de los materiales minerales (45%) y otra fracción está compuesta de materiales orgánicos (0 – 5%). Los materiales inorgánicos provenientes de las rocas tienen tamaños diferentes, producto de su resistencia a la desintegración y descomposición y a la intensidad de los procesos de intemperización. Junto con los materiales orgánicos, las partículas minerales se agrupan formando **agregados o peds**, que son milimétricos flóculos que en su conjunto le proporciona una distribución más o menos uniforme de poros al suelo donde se presenta un balance entre la **fase líquida** y la **fase gaseosa** del suelo.

Las raíces de las plantas, los animales y microorganismos necesitan de oxígeno y también de agua, de tal manera que estos dos compuestos deben de estar presentes en el suelo de manera balanceada **compartiendo el espacio poroso**. En momentos puede haber más agua que gases en el suelo, y lo contrario también pasa, que exista en suelo seco y el espacio poros solo contenga los gases en su atmósfera. Si un suelo retiene mucha agua y sus micro y macroporos están saturados, faltará oxígeno, y las plantas sufrirán las consecuencias. En el

caso opuesto, puede haber suelos de textura muy arenosa que no retienen agua y las plantas también sufren un estrés hídrico.

El suelo agrícola tiene longitud, anchura y profundidad. Es **un cuerpo tridimensional** y no solo es la superficie del terreno. La diferencia entre los términos, **terreno** y **suelo** es que el terreno o tierra es la palabra utilizada para referirnos solo a la superficie visible del suelo (dos dimensiones), y cuando nos referimos al suelo, estamos considerando también su profundidad.

La mayoría de los productores solo ponen atención a la superficie del suelo, pero a los **agrónomos** nos debe interesar todo el suelo y la parte que no vemos a simple vista es la más importante. Si hacemos un corte del suelo (**perfil**), observaremos que está compuesto de varias capas, a las que llamaremos **horizontes**. A cada horizonte le asignamos una literal, y tiene un significado:

- Horizonte O: Horizontes compuestos de materia orgánica en evolución.
- Horizonte A: Capa arable.
- Horizonte B: Material edáfico con propiedades para el desarrollo de raíces.
- Horizonte C: Material rocoso parcialmente desintegrado (regolita).
- Horizonte R: Roca madre o material rocoso consolidado.

Es posible utilizar otras literales para caracterizar el perfil del suelo en estudios especializados, que no abordaremos en este nivel.

Si consideramos un **suelo ideal** para fines de estudio podemos describir el perfil que aparece en la diapositiva. En principio, es posible decir que se trata de un suelo de bosque (clima Templado húmedo) o de selva (clima Cálido húmedo) ya que cuenta con **horizontes orgánicos**.

La capa litter (A_{oo}) representa un horizonte exclusivamente de materia orgánica y en el que podemos reconocer el origen de esos materiales, es decir, se trataría de hojarasca, ramas y troncos de árboles muertos y cadáveres de animales.

La fracción residual de la materia orgánica que ha sido desintegrada en el ecosistema del suelo recibe el nombre de **humus** y es un material con una alta reactividad química. El **humus crudo (A_o)** representa un horizonte constituido de materia orgánica en su última etapa de evolución.

Los suelos agrícolas o suelos minerales de permanente aprovechamiento **no cuentan con horizontes orgánicos** ya que no hay lugar para la acumulación superficial de materia orgánica,

por lo que comenzaremos a designar el primer horizonte como **horizonte A**. En el caso que nos ocupa, este horizonte está bien desarrollado y diferenciado y presenta tres horizontes A.

El horizonte A_1 es una capa con material mineral, pero con el humus incorporado que aporta un medio fértil para el crecimiento de raíces de plantas y microorganismos. El **horizonte A_2** es un horizonte donde ocurre un fenómeno de lavado o **eluviación** de partículas sólidas minerales de pequeño tamaño (arcillas). Cuando tenemos suelos con un solo horizonte A, en general este lavado se presenta en todo el horizonte, pero es en su parte media donde este proceso se intensifica. El **horizonte A_3** tiene características generales del horizonte A, pero también del horizonte B, por lo que se denomina **horizonte de transición (AB).**

Para el perfil que estamos analizando, los horizontes **A_3 y B_1** los denominamos **horizontes de transición**. En suelos con un solo horizonte B, se dice que es un horizonte de **iluviación o de acumulación de partículas sólidas de pequeño tamaño (arcillas)**. No obstante, este fenómeno de acumulación se intensifica en la parte media de este horizonte.

En el perfil que nos ocupa, el **horizonte B_2 representa el horizonte de mayor iluviación o acumulación**, por lo que le llamamos **horizonte iluvial**.

El horizonte B_3 es un horizonte de transición con el horizonte C. Este horizonte tendrá características del horizonte B, pero compartirá materiales gruesos de la regolita.

El horizonte C se caracteriza por contener arenas gruesas, grava o rocas de pequeño tamaño que han sufrido un proceso parcial de intemperización física. Es posible que raíces de árboles lleguen a explorar la parte superficial de este horizonte, pero en general la vida es limitada.

El horizonte R es también llamado lecho rocoso y está constituido por rocas brutas de gran tamaño sin intemperizar.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El perfil del suelo es la sucesión de capas u **horizontes que tienen características distintivas unos de otros.** Solo los horizontes **de transición** pueden compartir características de dos horizontes adyacentes. Las características de cada horizonte son de naturaleza **física, química, biológica o hidrodinámica**.

Cada uno de estos grupos de características interaccionan entre sí y tienen una importante influencia en las propiedades del suelo agrícola y su capacidad para propiciar el ambiente óptimo para que los cultivos desarrollen su máximo potencial de producción. Estas propiedades son:

- Retención de humedad aprovechable
- Drenaje
- Fertilidad
- Facilidad de laboreo
- Facilidad de penetración y exploración de las raíces
- Alta tasa de flujo e intercambio gaseoso
- Velocidad de mineralización de la materia orgánica
- Alta tasa de producción de compuestos húmicos
- Rápida liberación de nutrientes aprovechables por las plantas y microorganismos
- Resistencia a la erosión

Comenzaremos a revisar las características físicas más comunes en este apartado.

TEXTURA

La textura del suelo es la proporción relativa de los separados del suelo, caracterizados por su tamaño. Esta característica física del suelo se refiere al tamaño de las partículas sólidas minerales.
Las partículas sólidas minerales son el resultado de la acción de los agentes de la intemperización sobre el material rocoso. Hay minerales primarios que se fraccionan finamente mientras que otros muy resistentes que finalmente quedan en partículas gruesas. Así, si pudiésemos separar las partículas sólidas minerales de una muestra de suelo por su tamaño, las podríamos agrupar en tres categorías: **partículas grandes, medianas y pequeñas**. Cada una de estas tres categorías las denominamos, **separados del suelo**.

De acuerdo con lo anterior, los separados del suelo son: **arena**, **limo** y **arcilla**. La arena es el separado más grande y su tamaño varía entre los **2.0 a 0.02 mm**; el limo tiene un tamaño que va de **0.02 a 0.002 mm** y la arcilla cuyo tamaño es menor de los **0.002 mm**.

La textura de un suelo se define por el **separado predominante**. Si un suelo contiene una mayor cantidad de arena en relación con la cantidad de limo y de arcilla, se dice que es un **suelo arenoso**. Si predomina el limo, se trata de un suelo **limoso**. Y si la arcilla es más abundante que los otros dos separados, entonces podemos decir que es un suelo **arcilloso**.

Si un suelo tuviera igual proporción de arena, limo y arcilla se dice que su textura es FRANCA.

Las partículas de arena son consideradas **inertes** por su nula capacidad de interaccionar con el agua, iones u otras partículas del suelo. Debido a lo anterior, no forman agregados y dan lugar a horizontes sueltos y dispersos. Entre las partículas de arena se forman unos espacios grandes llamados **macroporos** por donde el agua fluye libre y rápidamente a horizontes inferiores, secándose rápidamente. Esta agua **no es aprovechable por las raíces de las plantas** y se dice que los suelo con gran cantidad de arena **no retienen agua o humedad**.

Por otra parte, las partículas de arcilla son **reactivas eléctricamente**. Derivado de su estructura química (más no por su tamaño), su superficie posee cargas eléctricas negativas e interacciona electrostáticamente con átomos o moléculas con carga positiva (moléculas de agua, cationes y compuestos orgánicos con carga). Por lo tanto, la arcilla en presencia de agua se asociará con ésta y otras partículas de arcilla, limo o materia orgánica y formará **agregados**, o incluso masas grandes de suelo llamados comúnmente **terrones**.

Por su capacidad de agregarse y su poder adsorbente a la arcilla se le llama también **coloide del suelo**. Entre las partículas de arcilla o dentro de los agregados resultantes se forman

pequeñísimos poros llamados **microporos o poros capilares** con una gran capacidad para retener agua. Esta agua, llamada **agua capilar es aprovechable para las plantas**.
La superficie específica de las arcillas es muy grande y puede retener (adsorber) algunos cationes nutrientes necesarios o indispensables para la vida de las plantas, por lo que los suelos arcillosos también resultan ser suelos con alta capacidad de almacenamiento de nutrientes.

Por lo antes mencionado podemos arribar a conclusiones simples, pero muy válidas:

1) Los suelos arenosos no retienen agua aprovechable para las plantas. Es necesario regarlos asiduamente o, solo podremos cultivar especies poco demandantes de este líquido. Los suelos arcillosos, por su parte, retienen una gran cantidad de agua, aunque si se mantienen mucho tiempo anegados o con exceso de agua, las plantas del cultivo pueden afectarse por no haber suficiente oxígeno para respirar.

2) Los suelos arenosos pueden ser laboreados en cualquier momento y son muy **ligeros**, es decir, que requieren menos energía para removerlos. Los suelos arcillosos cuando están muy húmedos forman masas imposibles de desintegrar, la maquinaria se atasca por esa consistencia **"chiclosa"**; y cuando están muy secos, los terrones adquieren una dureza extrema que trabajarlos es laborioso. Se dice entonces que los suelos arcillosos son **pesados** para el laboreo, y son considerados **suelos de barrial**.

3) Los suelos arenosos no tienen capacidad de almacenamiento de nutrientes para las plantas, ya que el agua al tener un movimiento muy rápido los puede solubilizar y acarrearlos a otros horizontes inferiores, lejos del alcance de las raíces de las plantas. Los suelos arcillosos tienen una gran capacidad para almacenar nutrientes, y en general son potencialmente **fértiles**.

4) Las texturas arenosa y arcillosa pueden presentar inconvenientes para el desarrollo de las plantas de un cultivo por lo que se considera a la textura **franca-arcillosa**, como la ideal y está determinada por un ligero predominio de arcilla y un balance entre la arena y el limo.

Para la determinación de la textura de una muestra de suelo se recurre al **método del hidrómetro de Bouyoucos**, que es el método mecánico y se lleva a cabo en el laboratorio. Los resultados de este método son el porcentaje de arena, limo y arcilla. Con estos datos en mano y con la ayuda del **triangulo de las texturas** se determina esta característica.

En campo también se puede utilizar un método empírico cualitativo llamado **método del tacto** o, mejor dicho, **método sensorial,** para saber de manera aproximada esta característica. Este método consiste en tomar una pequeña muestra de suelo y adicionarle agua, solo para mojarla, y friccionar una pequeña porción entre los dedos índice y pulgar y notar la sensación de aspereza o fineza del material. La arcilla se "siente" como plastilina, muy fina y pegajosa, mientras que la arena se siente abrasiva y dura. Solo la experiencia nos aproxima a los resultados de laboratorio. No obstante, en ocasiones cuando el laboratorio es inaccesible este método es muy útil y junto con otras determinaciones nos ayuda a tomar las decisiones correctas sobre el manejo agronómico del suelo.

ESTRUCTURA

La estructura del suelo es la forma que toman los AGREGADOS del suelo, es decir, como las partículas sólidas se agrupan naturalmente. A estos agregados también se les llama "peds".

La estructura **granular**, es la no agregación de las partículas de arena. Son los granos sueltos de arena en horizontes y suelos con un predominio casi exclusivo de arena. La estructura

migajonosa (análoga a la estructura del migajón del pan) es característica de suelos con una textura de franca-arcillosa a arcillosa, con agregados pequeños que poseen muchos microporos o poros capilares. Se considera la estructura ideal.
La estructura **laminar** se presenta en suelos derivados de rocas sedimentarias y está constituida de placas superpuestas que llegan a ser verdaderos obstáculos para la penetración y crecimiento de las raíces de las plantas. En estos casos se recomienda la intervención de un arado de subsoleo, o la utilización de un "ripper" para romper esa estructura.

Las estructuras en **bloques subangulares**, **bloques angulares**, **columnar** y **prismática** son características de horizontes con gran contenido de arcilla. Estas estructuras son indicativas de un drenaje deficiente del agua excedente en el suelo.

Mientras que la textura de un suelo es prácticamente imposible de cambiar; la estructura si que la podemos mejorar con la incorporación de materia orgánica. Las sustancias orgánicas producto de la descomposición de la materia orgánica, así como las secreciones de microorganismos sirven como "pegamentos" para las partículas minerales sin capacidad natural de floculación.

DENSIDAD

Existen dos valores de densidad del suelo, **la densidad real (Dr) y la densidad aparente (Dap).** Es importante concentrarse en las fórmulas presentadas en la diapositiva y diferenciarlos claramente.

Para fines prácticos, la densidad real o densidad de las partículas no cambia y se puede tomar como constante el valor de **2.65 g/cm³. En contraparte del valor de la densidad aparente es muy variable y se debe determinar ya sea en campo o en el laboratorio.**

Como la densidad del suelo es una relación entre masa o peso y el volumen, las unidades empleadas son: **g/cm³ (o sus equivalentes escalares, ton/m³)** o **g/ml**. Considerando que a nivel práctico, 1 mililitro de agua ocupa un volumen de 1 cm^3. El concepto de **suelo seco** es una convención que significa que la muestra de suelo debe de ser sometida a un tratamiento de secado en una estufa de convección a 105°C por un tiempo mínimo de 24 horas.

En general, el valor de la densidad aparente de un suelo nos proporciona una idea de su grado de compactación o agregación, y al mismo tiempo del volumen de espacio poroso. Con esta idea en mente, podemos deducir que, durante el mantenimiento del cultivo, que requiere del paso constante de maquinaria, el suelo sufre compactación y por consecuencia de la reducción del espacio poroso, lo que puede afectar el cultivo del siguiente ciclo, y nos

conduce a reflexionar sobre la necesidad de laborear al suelo antes de realizar la siembra del siguiente ciclo. Los suelos arcillosos tienden a requerir de un laboreo más intensivo mientras que los suelos francos y arenosos no necesitan de mucho trabajo. Un valor ideal de la densidad aparente es de **1.25 g/cm³.** A medida que el valor de la Dap es mayor, la compactación es también mayor, y un valor alrededor o próximo a 1.25 g/cm^3 significa que la compactación no es de consideración y que contamos con un porcentaje de espacio poroso de aproximadamente el 50%, que es un valor ideal.

Los suelos arenosos que de manera natural no se compactan, presentan valores de densidad aparente superiores a 1.4 g/cm^3, pudiéndose mejorar con la incorporación de materia orgánica al lograr una mayor agregación.

El valor de la densidad aparente (Dap) de un suelo nos ayuda a determinar de manera indirecta el peso de un suelo. Si por ejemplo tenemos que la determinación de la Dap de la muestra de un suelo nos arrojó el valor de 1.35 g/cm^3 y queremos saber cuanto pesa un terreno de 10, 000 m^2 (1 hectárea) a una profundidad de 30 cm, seguimos el siguiente procedimiento:

En primer lugar, debemos saber que **1.35 g/cm³ es igual a 1.35 ton/m³.** Lo anterior se analiza de la siguiente manera: **Un metro cúbico de suelo tiene un peso de 1.35 toneladas** (solo para este ejemplo).

Luego, tenemos que calcular cual es el volumen total del terreno multiplicando **la superficie o área (m²)** por su **grosor (m)**. En este caso sería multiplicar los 10, 000 m^2 por 0.3 metros (recuerden que debemos hacer operaciones siempre con las mismas unidades y debemos transformar 30 cm a metros, 0.3 m), lo que resulta en 3 000 m^3 (m^2 por m es igual a m^3).

Volumen del terreno (m³) = Superficie (m²) x Grosor (m)

Finalmente, nos hacemos el planteamiento siguiente; **si un metro cúbico de suelo tiene un peso de 1.35 toneladas, ¿Cuántas toneladas pesarán 3, 000 m³?**

1.35 toneladas _____ 1 m³
X _____ 3000 m³

$$X = \frac{1.35\ ton/m3\ x\ 3000\ m3}{1\ m3}$$

R= 4, 050 ton

Si nos queremos ahorrar tiempo, podemos prescindir de la regla de tres simple y solamente **multiplicamos el valor de la densidad aparente por el volumen del terreno y obtendremos el peso correspondiente**.

POROSIDAD

El porcentaje de porosidad de un suelo es la relación entre el volumen de espacio poroso (Vep) y el volumen total del suelo, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%\ \boldsymbol{porosidad} = \frac{\boldsymbol{Vep}}{\boldsymbol{Vt}}\ \boldsymbol{x\ 100}$$

Si recordamos que la densidad real (Dr) es la relación entre el peso seco del suelo y el volumen de las partículas sólidas y la densidad aparente (Dap) es la relación entre el peso seco del suelo y su volumen total (volumen total = volumen de las partículas + volumen del espacio poroso), entonces:

$$\%\ porosidad = \left(1 - \frac{Dap}{Dr}\right)\ x\ 100$$

Por ejemplo, tenemos que el valor de la Dap=1.25 g/cm^3 y el valor de la Dr=2.65 g/cm^3 y queremos calcular el porcentaje de porosidad. Al sustituir los valores en la fórmula tenemos:

$$\%\ porosidad = \left(1 - \frac{1.25}{2.65}\right)\ x\ 100$$

R= 52.83 %

Con fines estrictamente teóricos podemos también calcular el valor de la Dap conociendo el valor del porcentaje de porosidad y considerando como constante el valor de la densidad real (2.65 g/cm^3). Ejemplo, sabemos que el valor del porcentaje de porosidad es de 32% y queremos calcular el valor de la Dap.

De la fórmula del porcentaje de porosidad arriba mencionada, despejamos:

$$Dap = \left(1 - \frac{\%\ porosidad}{100}\right)\ x\ Dr$$

Sustituyendo valores en la fórmula tenemos:

$$Dap = \left(1 - \frac{32}{100}\right) x\ 2.65 = 1.8\ g/cm3$$

Al considerar que aproximadamente la mitad del espacio poroso del suelo estará ocupada por el agua (solución del suelo) y la otra mitad por los gases necesarios para la sobrevivencia de las plantas y la mayoría de organismos del suelo, entonces dimencionamos correctamente la importancia de esta característica. A mayor porosidad, es mayor la cantidad de agua aprovechable por las plantas y mayor será la difusión del aire de la atmósfera del suelo.

Existe una relación inversamente proporcional entre la porosidad del suelo y su densidad aparente, ya que si analizamos los ejemplos anteriores veremos que un suelo con una densidad aparente de 1.25 g/cm^3 su porcentaje de porsidad es del orden del 52.8%, mientras que el suelo con una densidad aparente de 1.8 g/cm^3 solo posee una porosidad del 32%. El primer suelo tendrá más capacidad de almacenamiento de agua y para el flujo de aire, mientras que para el segundo sus capacidades son más limitadas.

Dos suelos con las mismas dimenciones y grosor pueden almacenar diferente cantidad de agua como resultado de su porosidad, densidad aparente, textura, estructura y contenido de materia orgánica.

Un suelo con limitada capacidad de retención de agua tiene que ser regado más frecuentemente y se debe utilizar un mayor volumen de agua. Si se trata de un sistema de producción agrícola de temporal, que solo depende del agua de lluvia, las plantas que crezcan sobre este suelo no alcanzarán su máximo potencial productivo.

COLOR

El color es la característica física más evidente de los horizontes del suelo, aunque para poder establecer valores cuantitativos es necesario utilizar un **sistema cromático**, que en este caso es el **sistema de Munsell**, el cual describe tres variables:

- **Tono (HUE). Es el color de reflexión que toma las variantes de color del arcoiris, desde el amarillo, pasando por el rojo, púrpura, azul hasta el verde. (puede tomar valores de 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 y 12.5).**

- **Luminosidad (VALUE). Se refiere a la claridad o oscuridad del color, va del blanco al negro (toma valores desde 0, negro; hasta 10, blanco).**

- Saturación (CHROMA). Va del gris (casi sin color) al color puro. (tiene valores del 0 hasta 10).

El procedimiento para determinar los valores del color del suelo es muy simple y comienza por tomar de la muestra dos pequeños terrones. El primero de ellos se moja con agua y el segundo se procesa en seco y, buscando tener una buena exposición a la luz natural, se comparan con los diferentes valores de HUE de la carta de colores de Munsell. Cada página de esta carta representa un valor de esta variable de tono. En el ejemplo de la diapositiva, nos detuvimos en la página 5YR, que significa que nos ubicamos en un intervalo del espectro entre el amarillo (Yellow) y el rojo (Red); aunque más cercano del amarillo que del rojo. La muestra del ejemplo presentó una valor de luminosidad (VALUE) intermedio de 4.0 y un valor de saturación (CHROMA) de 2.0. El resultado de la combinación de estas tres variables nos brinda un color gris rojizo obscuro con una fórmula cromática, 5YR, 4/2.

La fórmula cromática del suelo tiene que relacionarse con sus características físicas, químicas y biológicas para que tenga una utilidad práctica, ya que por sí sola, solo tiene un valor descriptivo.

Los suelos de color blanco por lo general se originan de rocas calizas con altos contenidos de carbonatos de Ca y Mg. Son suelos con un pH alcalino y de textura de media a gruesa. En México se les conoce como suelos con "Tepetate" o "Tepepetatosos" y muy delgados. Suelos de climas secos con escasa cobertura vegetal y nula acumulación de materia orgánica. Las especies de nopales, magueyes, y otras cactáceas prosperan bien en este tipo de suelo. Algunos portainjertos de vid o parra necesitan de estos suelos y también el guayabo produce fruta de alta calidad en estas condiciones.

No se recomienda el establecimiento de cítricos y la mayoría de cultivos en estos suelos ya que acusarán severas deficiencias nutrimentales.

El color anaranjado y rojo de ciertos suelos se debe a la presencia de elementos metálicos oxidables naturalmente, principalmente la abundancia de minerales como la hematita constituida de abundante Fe. Son suelos de textura gruesa con un drenaje rápido y climas secos.

Se dice frecuentemente que los suelos de color negro contienen una importante cantidad de materia orgánica. En general esto no es verdad, ya que existen arcillas que poseen ese color, como es el caso de la Montmorillonita, que es una arcilla abundante en suelos de importantes regiones agrícolas de nuestro país. Se trata de suelos aluviales de grandes valles donde, a través del tiempo, se han depositado minerales de arcilla provenientes de zonas boscosas de

montaña. Dentro de la clasificación de suelos se les denomina **Vertisoles pelicos**, o suelos que se invierten, y es un tipo de arcilla que cuando está húmeda se expande y en seco se contrae formando profundas grietas a través del perfil.

No obstante, existen arcillas de otros colores, además del negro. Las puede haber blancas, grises, amarillas o rojas.

Los suelos que exhiben un color **café marrón obscuro**, en general, contienen un porcentaje alto de materia orgánica en fases terminales de descomposición. Son ricos en humus y con una actividad microbiana intensa. Suelos con una alta capacidad de retención de humedad, muy buena estructuración, fértiles y muy productivos.

Los suelos amarillos le deben su color a la presencia de minerales como goethita y limonita. Se presentan en climas secos hasta templados con limitada precipitación pluvial.

En regiones cercanas a los litorales pueden presentarse condiciones de **manto freático alto**, lo que significa que el nivel del agua subterránea se encuentra solo a pocos centímetros del raz del suelo. Estos suelos pasan largas temporadas en ausencia de oxígeno, en condiciones anaeróbicas y en consecuencia toman un color **gris a blanquisco.**

PROFUNDIDAD

Es el grosor del perfil con material edáfico propicio para el crecimiento de las raíces de las plantas y de los microorganismos de la rizosfera. Algunos suelos solo poseen algunos centímetros de horizonte A (capa arable), y son llamados **suelos soméros o delgados**, mientras que otros tienen los horizontes A y B bien desarrollados y diferenciados, por lo que llegan a tener algunos metros de profundidad. Esta característica determina las especie agrícola a establecer. Los árboles frutales requieren de más de dos metros de profundidad, mientras que el maíz o el fríjol con 20 cm de grosor es suficiente, aunque si son establecidos en suelos profundos su productividad sería, en teoría, mayor.

Si nos concentramos en las fotografías que se exhiben en la diapositiva podemos notar que, de izquierda a derecha, el primer perfil es el de un suelo profundo en el que está establecido un huerto frutícola. La siguiente fotografía nos muestra un suelo profundo, pero con problemas de drenaje de una región tropical. La tercera fotografía es la de un perfil de un suelo con profundidad media de una zona con clima seco.

La última fotografía nos presenta el característico perfil de un suelo de una zona con clima cálido húmedo. Se denomina ténicamente como **Ar**, lo que significa que solo ostenta un muy

delgado horizonte A y luego sigue el lecho rocoso (R). Cuando estos suelos no están intervenidos por el ser humano, presentan una exhuberante vegetación de selva, pero cuando se elimina la cobertura vegetal y se aprovecha agricolamente, la roca madre no tarda en aflorar, y en pocos años son suelo inutilizables. Esto representa un reto para los especialistas de la llamada **Agricultura de Zonas Tropicales**.

Hemos de precisar que los suelos someros no son exclusivos de las regiones cálidas, también se pueden presentar en cualquier condición de clima. La última diapositiva de la presentación nos muestra el perfil de un suelo que tiene una **fase pedregosa o rocosa**, y un delgado horizonte A; no posee horizonte B y un notorio horizonte AC de transición, sobre la regolita y el lecho rocoso.

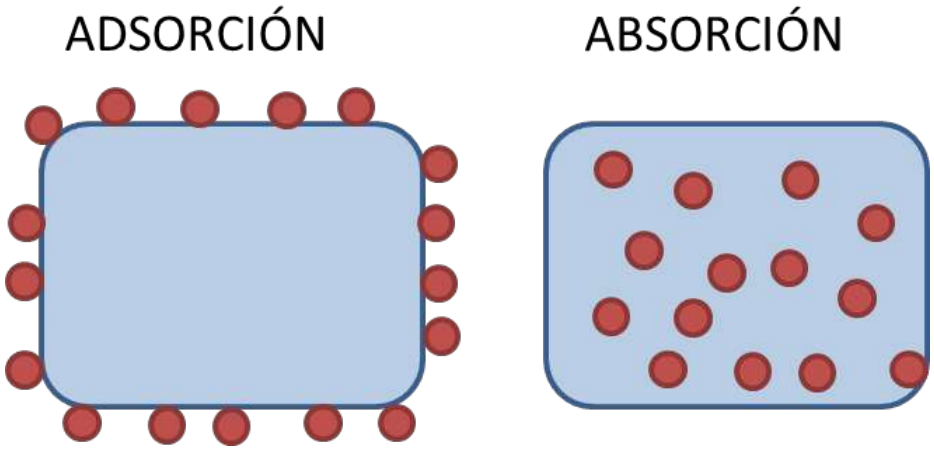
Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 3. MÓDULO III. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO

Las partículas de arcilla y el humus son considerados **los coloides del suelo**, o partículas sólidas (el primero de origen mineral o inorgánico y el segundo de naturaleza orgánica) que presentan, sobre su superficie, cargas eléctricas negativas, por lo que poseen actividad eléctrica. Atraerán a compuestos o iones con carga positiva (cationes). Varios de estos cationes son importantes en la dinámica del suelo agrícola, como son: **H^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+ y K^+.**

Estos cationes son atraídos con una fuerza electrostática importante a las superficies de la arcilla y del humus por un fenómeno conocido como **adsorción.**

La adsorción es el proceso en la cual átomos o moléculas de una sustancia son retenidas en la superficie de otra sustancia.



El proceso de **adsorción** es diferente que el de **absorción.** En el primero, los átomos y moléculas forman una o más capas **sobre la superficie del adsorbente**, mientras que en la absorción los átomos y moléculas entran en una estructura más compleja y llegan a formar parte de ella. Un ejemplo de absorción es cuando el agua y nutrientes entran a los pelos absorbentes de las raíces.

Los **iones** son átomos o moléculas con carga eléctrica: **los iones con carga positiva son los cationes y los iones con carga negativa son los aniones.** Si las cargas eléctricas de signo opuesto se atraen, entonces, **la superficie de las arcillas y del humus adsorberán a los cationes.**

COMPLEJO DE ADSORCIÓN

El Complejo de adsorción del suelo está compuesto por las partículas de arcilla y por el humus (material amórfo que proviene de la descomposición de la materia orgánica) y sus cationes adsorbidos. Un suelo con un alto contenido de arcilla y de humus ostentará un mayor complejo de adsorción que un suelo arenoso y desprovisto de humus.

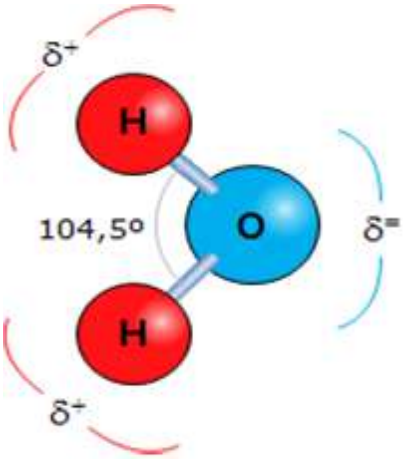
A los cationes del complejo de adsorción del suelo se les denomina, **cationes intercambiables**. Los cationes intercambiables están "pegados" a la superficie de las arcillas y del humus con tal fuerza que no pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas, y solo podrán ser liberados por efecto de un intercambio por cationes que se encuentran en la **solución del suelo**.

LA DISOLUCIÓN O SOLUCIÓN DEL SUELO.

Una disolución o solución es una mezcla homogénea entre dos o más sustancias que se asocian y no reaccionan entre sí; donde la sustancia en mayor concentración será el solvente y la otra tendrá el papel de soluto.

En química se conocen muchos tipos de soluciones, pero en las más comunes el **solvente** (disolvente) es un líquido y el **soluto** es un sólido, y finalmente el estado de la solución es líquido. Aunque es importante insistir que existen soluciones con solventes y solutos en estado gaseoso, sólido o en estado supercrítico.

Cuando el solvente es el agua, a las soluciones resultantes se les llama: SOLUCIONES ACUOSAS. Estas soluciones acuosas tienen propiedades y reactividades químicas muy particulares que se diferencían en mucho con las propiedades del agua pura.



El agua tiene un alto potencial como solvente polar debido a su estructura química. La disposición de los átomos de hidrógeno con relación al átomo de oxígeno, tiene un ángulo de 104.5°, lo que provoca un campo eléctrico con una carga positiva (δ^+) por el lado de los átomos de hidrógeno, y una carga negativa (δ^-) por el lado del átomo de oxígeno. La molécula de agua se dice que es un **dipolo o una molécula bipolar, ya que tiene la capacidad de adsorber o adherirse a sustancias con carga eléctrica posiva y negativa.** En estado líquido puede disolver una gran cantidad de solutos, tanto en estado líquido, sólido o gaseoso. De aquí que, al agua se le considera como **el solvente universal.**

Cuando el agua está en estado puro, sus propiedades físicas y químicas están determinadas solo por la temperatura y la presión, pero si el agua forma parte de una disolución, o está mezclada con otras sustancias, las propiedades de la solución acuosa resultante comienzan a diferir de las del agua pura y a depender de la reactividad de los solutos y de su concentración.

El agua en el suelo no puede estar en estado puro por dos razones fundamentales:

1) La presencia natural de sales solubles derivadas de la intemperización de los minerales de las rocas originales, y de los compuestos orgánicos solubles producidos por la descomposición de la materia orgánica y las secreciones de las raíces de las plantas y del crecimiento de los organismos del suelo.

2) Que el agua misma se disocia en iones hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-) en una cierta concentración de agua. En otras palabras, una parte de las moléculas de agua se descomponen de forma natural liberando el catión hidrógeno y el anión hidroxilo.

Por lo antes descrito, el agua al penetrar al suelo inmediatamente se asocia a los solutos disponibles y se convierte en una **solución acuosa del suelo**, o **solución del suelo.**

CATIONES LIBRES O APROVECHABLES

Los **cationes aprovechables** o cationes libres se encuentran asociados a las moléculas de agua del suelo, formando la solución del suelo, por lo que se conocen también con el nombre de **cationes de la solución del suelo**. Estos cationes están disponibles para su absorción por las raíces absorbentes de las plantas.

Las raíces de las plantas absorben los nutrientes, que necesitan para su crecimiento y desarrollo, junto con el agua por **flujo de masas**, y de esta manera no gastan energía.

INTERCAMBIO DE CATIONES

Hasta este punto es necesario tener claro que en el suelo existe dos clases de cationes: los **cationes intercambiables** del complejo de adsorción y los **cationes aprovechables** de la solución del suelo. También es importante insistir que los cationes intercambiables del complejo de adsorción no pueden ser "arrancados" por las raíces de las plantas, pero éstas si pueden absorber los cationes aprovechables de la solución del suelo sin gasto de energía.

Existe un balance entre la cantidad de cationes intercambiables y los cationes aprovechables, y cuando se rompe ese balance, se produce un INTERCAMBIO DE CATIONES entre el complejo de adsorción y la solución del suelo, y viceversa. La dirección hacia donde se mueven los cationes depende de un gradiente que va **de mayor concentración a menor concentración.** Esto significa que si adicionamos cationes a la solución del suelo con la fertilización, los cationes tenderán a moverse al complejo de adsorción hasta cubrir las cargas

de la superficie de la arcilla y del humus, es decir, llenarán el complejo de adsorción, y los cationes que no alcancen carga superficial, se quedarán asociados al agua del suelo.

Por otra parte, si los cationes aprovechables son absorbidos por las raíces de las plantas, o se pierden por lixiviación, la solución del suelo recibirá cationes del complejo de adsorción por intercambio, y pasarán de ser intercambiables a aprovechables. Aún y cuando el complejo de adsorción se encuentre saturado y la solución del suelo sea rica en cationes aprovechables; los cationes tienden a intercambiarse, siempre y cuando se respeten las equivalencias de masa y de valencia.

EQUIVALENTES (Eq) Y MILIEQUIVALENTES (meq)

Un catión de hidrógeno que se encuentra en el complejo de adsorción puede intercambiarse por otro catión hidrógeno, o por otro cualquier catión de la solución del suelo. No obstante, los masas de esos cationes son diferentes, así como también los sitios de carga que pueden ocupar. La definición de las equivalencias de los diferentes cationes del suelo se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$1\ Eq = \frac{Masa\ atómica}{valencia}$$

Así tenemos que:

1 Eq de hidrógeno = 1 gramo de H^+
1 Eq de calcio = 20 gramos de Ca^{++}
1 Eq de magnesio = 12 gramos de Mg^{++}
1 Eq de sodio = 23 gramos de Na^+
1 Eq de potasio = 39 gramos de K^+

Siempre 1 Equivalente de cualquier catión se intercambiará por 1 Equivalente de otro catión, pero las masas serán diferentes. Ejemplo: 1 gramo de hidrógeno es equivalente a 20 g de calcio, 12 gramos de magnesio, 23 gramos de sodio o 39 gramos de potasio.

Como la medida del Equivalente (Eq) resulta muy grande para cuantificar las cantidades de cationes en el intercambio cationico, se ha convenido en generar otra unidad, el **miliequivalente (meq)**, que es la milésima parte de un Equivalente:

$$1\ meq = \frac{1\ Eq}{1000}$$

Ahora tenemos:

1 meq de hidrógeno = 0.001 g (1 mg) de H^+
1 meq de calcio = 0.020 g (20 mg) de Ca^{++}
1 meq de magnesio = 0.012 g (12 mg) de Mg^{++}
1 meq de sodio = 0.023 g (23 mg) de Na^+
1 meq de potasio = 0.039 g (39 mg) de K^+

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo es el número de miliequivalentes (meq) de cationes intercambiables por cada 100 gramos de suelo seco.

Entonces la CIC está determinada por el tamaño del complejo de adsorción, y a su vez, por su contenido de arcillas y de humus. Esta característica del suelo se puede ver como la capacidad de almacenamiento de cationes, aunque puede haber casos en los que un suelo tenga un valor alto de CIC, pero los cationes que contiene no son útiles para la nutrición de las plantas. En todo caso, un suelo con alta CIC es mejor que uno con un valor bajo de CIC.

Como resultaría natural, los suelos arenosos con bajo contenido de arcilla tienen valores muy bajos de CIC, del orden de los 0 – 10 meq/100 g de suelo seco, mientras que los suelos arcillosos pueden poseer hasta 40 a 50 meq/100 g de suelo seco. El humus puede alcanzar hasta los 300 meq/100 g de muestra.

La determinación de la CIC se realiza en el laboratorio exclusivamente, y es un análisis imprescindible para saber el estado nutrimental del suelo y elaborar el programa de fertilización o incorporación de abonos orgánicos. Los resultados del laboratorio nos reporta la cantidad de miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo seco.

En la diapositiva se proporciona un ejemplo teórico del desglose del valor de la CIC de un suelo:

- Calcio = 21 meq/100 g s.s.
- Magnesio= 6 meq/100 g s.s.
- Sodio= 2 meq/100 g s.s.
- Potasio= 2 meq/100 g s.s.
- Hidrógeno= 1 meq/100 g s.s.
- **CIC = 32 meq/100 g s.s**.

CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE LOS CATIONES A PARTIR DE LA CIC

Tenemos un terreno de 10, 000 m^2 de superficie, 30 cm de profundidad y una Dap= 1.28 g/cm^3 y queremos saber a cuantos kilogramos de los cationes corresponden las cantidades de miliequivalentes.

1) Calcular el peso del suelo, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente, y que consiste en la determinación del volumen del suelo y luego multiplicarlo por la Dap:

Vol = (10000) (0.30) = 3000 m^3 Peso del terreno= (3000) (1.28)= 3840 ton

2) Tomar en consideración las siguientes equivalencias de medida:

1 ton = 1000 Kg 100 g = 0.1 Kg 1 mg = 0.000 001 Kg

1 meq de Hidrógeno = 0.000001 Kg
1 meq de Calcio = 0.000020 Kg
1 meq de Magnesio = 0.000012 Kg
1 meq de Sodio = 0.000023 Kg
1 meq de Potasio = 0.000039 Kg

3) Multiplicar las cantidades en kilogramos correspondientes a 1 meq de cada catión por la cantidad de meq de la CIC:

Hidrógeno = 0.000001 Kg x 1 meq = 0.000001 kg / 0.1 Kg de suelo
Calcio = 0.000020 Kg x 21 meq = 0.00042 Kg / 0.1 Kg de suelo
Magnesio = 0.000012 Kg x 6 meq = 0.000072 Kg / 0.1 Kg de suelo
Sodio = 0.000023 Kg x 2 meq = 0.000046 Kg / 0.1 Kg de suelo
Potasio = 0.000039 Kg x 2 meq = 0.000078 Kg / 0.1 Kg de suelo

4) Razonar el siguiente planteamiento y aplicarlo para todos los cationes:

Si tenemos 0.000001 Kg de H^+ ---------- 0.1 Kg de suelo
X ---------- 3' 840 000 Kg de suelo

$$X = \frac{(0.000001)(3\,840\,000)}{0.1} = 38.4 \text{ Kg de Hidrógeno en el terreno}$$

38.4 Kg de Hidrógeno
16, 128 Kg de Calcio
2, 764.8 Kg de Magnesio
1, 766.4 Kg de Sodio
2, 995.2 Kg de Potasio

Estas cantidades están presentes en el terreno de 10, 000 m^2 a una profundidad de 30 cm y con un valor de Dap= 1.28 g/cm^3.

PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES (PSB)

Esta determinación es importante para saber cual es la proporción de cationes base con relación a la capacidad de intercambio cationico (CIC), y sí esta proporción **es mayor del 50%** se dice que se trata de un suelo **fértil**, mientras que si **es menor del 50%** se dice que es un suelo **infértil y ácido**.

PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)

El catión sodio tiene radios, atómico y de hidratación, grandes. Esto significa que ocupará mayor espacio en el suelo y llega a impedir la agregación de las partículas. Se dice que el catión sodio, dependiendo de la cantidad en el complejo de adsorción, puede **desflocular o disgregar** el suelo. Una proporción **mayor del 15%** con relación a la totalidad de los cationes del complejo de adsorción, nos indica que el suelo tiene problemas de sodicidad o se trata de un **suelo sódico**.

Un suelo sódico no presenta estructuración de sus partículas y por lo tanto no tiene espacio poroso bien definido, sino que tiene una apriencia de harina suelta. En estas condiciones el agua no se infiltra y casi no hay flujo de aire. Asi como en una porción de harina, al vertirle una cantidad de agua, ésta se queda sobre ella, así también los suelos sódicos no se estructuran en una matriz porosa.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El agua pura es un **pésimo conductor de electricidad**, pero las soluciones acuosas con sales disueltas se convierten en eficientes **electrolitos**, es decir en **conductoras de electricidad. A mayor concentración de sales disueltas en una solución acuosa, mayor será su capacidad para conducir la electricidad.** Esta propiedad de las soluciones acuosas sirve para determinar su contenido de sales en análisis de suelos.

La conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo, es un indicador directo del contenido de sales solubles, como: cloruros, sulfatos, nitratos o carbonatos de calcio, magnesio, potasio o sodio en el suelo.

Las sales solubles, en altas concentraciones, pueden ser muy nócivas para las plantas debido a que aumentan el potencial osmótico fuera de las células provocando **plasmólisis**, o muerte citológica por roturas de la membrana del citoplásma y deshidratación. También a nivel de la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces, puede suceder que en lugar de favorecerse la absorción se provoca una salida de agua del interior de la planta. Y finalmente, un alto contenido de sales provoca la dismiución de agua libre (disminución del potencial hídrico del suelo).

Una conductividad eléctrica de 4.0 mmhos/cm (milimhos por centímetro) o dS/m (decisiemens por metro) nos indica un nivel de salinidad riesgoso.

Al considerar la conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) al mismo tiempo tenemos la siguiente tabla:

Clasificación	CE (dS/m)	PSI	pH
Salinos	> 4	< 15	< 8.5
Sódicos	< 4	> 15	> 8.5
Salino-sódicos	> 4	> 15	< 8.5

LA REACCIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO (pH)

El potencial de reactividad química de la solución del suelo se denomina comunménte como **el pH del suelo**. En realidad, se trata de una propiedad de reactividad de **la solución del suelo** debida a su concentración de iones H^+ y que tiene importantes implicaciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas de un cultivo.

Como ya vimos anteriormente, el ion hidrógeno (H^+) es un ion **ácido** que al encontrarse en cantidades importantes en la solución del suelo va a provocar que ésta adquiera un grado de ácidez; que dependerá de su concentración [H^+]. Las concentraciones del ion hidrógeno [H^+] y del ion hidróxilo [OH^-] en la solución del suelo son **iversamente proporcionales**, es decir, **cuando un ion aumenta el otro disminuye**. Cuando la concentración del **catión hidrógeno** aumenta, (y aumenta **la ácidez** de la solución del suelo) el **anión hidróxilo** disminuye. Cuando el anión hidróxilo aumenta, (aumenta **la alcalinidad** de la solución del suelo) la concentración del catión hidrógeno disminuye.

Para entender mejor lo que hemos escrito arriba debemos tener claro que **cualquier cantidad de agua pura, a presión normal (1 atm) y a 25°C, se descompondrá o se dIsociará en iones H^+ y OH^-.** Es una cantidad muy pequeña de agua que se ioniza y que se puede determinar al calcular la **constante de equilibrio** de esa reacción:

$$H_2O \text{ ---------- } H^+ \ + \ OH^-$$

$$K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = 1.82\ x\ 10^{-16}$$

Al calcular **la concentración molar del agua**, es decir, la cantidad de moles de agua en un litro de agua tenemos:

$$[H_2O] = \left[\frac{997}{18}\right] = 55.3\ moles/litro$$

A la temperatura y presión descritas tenemos que la densidad del agua es de 997 cm^3 (ml) por litro, y 18 es el peso molécular del agua (2 + 16; 2= 2 átomos de hidrógeno y 16= 1 átomo de oxígeno). Así que se obtienen 55.3 moles/litro.

Al multiplicar la constante de equilibrio de la reacción de ionización del agua por la concentración molar del agua se obtiene el valor de la **constante del producto ionico del agua (K_A):**

$$K_A = [H^+]\ [OH^-] = 1.82 \times 10^{-16} \ \times \ 55.3 = 1.01 \times 10^{-14}$$

El significado de esta constante es que, la concentración de iones H^+ y iones OH^- en cualquier cantidad de agua pura será de 1.01 x 10^{-14} moles/litro, y que habrá igual cantidad de H^+ y de OH^-.

Retomando algo muy importante que escribimos antes:

- Si la concentración de H^+ es mayor que la concentración de OH^-, tenemos una solución del suelo ÁCIDA.

- Si la concentración de OH^- es mayor que la concentración de H^+, tenemos una solución del suelo ALCALINA o BÁSICA.

- Siempre, en cualquier cantidad de agua PURA (sin solutos), la concentración de H^+ y la concentración de OH^-, SON IGUALES, y esta agua es NEUTRA.

De la constante del producto ionico del agua (K_A) podemos concluir que en cualquier cantidad de agua pura, la concentración de iones hidrógeno y de iones hidróxido será:

$$[H^+]\,[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ moles/litro}$$

$$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} \qquad [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$$

Cualquier cantidad de agua pura tendrá igual concentración de iones hidrógeno y de iones hidróxido y esta concentración será para cada uno de los iones igual a 0.0000001mol/litro.

ÁCIDOS Y BASES

Hemos mencionado que el agua del suelo no podría estar en estado puro, ya que debido a su carácter polar siempre tenderá a solubilizar algunas sustancias del suelo y a formar una **disolución o solución (la solución del suelo)**. Las sustancias que se encuentran en el suelo, y que pueden asociarse con las moléculas de agua pueden también ionizarse y liberar, si en su estructura quimica los poseen, iones H^+ y iones OH^-.

A los compuestos químicos que al ionizarse en el agua y liberan iones H^+, se les llama: **ÁCIDOS**, mientras que a los compuestos químicos que al ionizarse en agua y liberan iones OH^-, se les llama: **BASES.**

De hecho, por lo que ya hemos mencionado antes, **el agua pura es considerada un ÁCIDO y al mismo tiempo una BASE, ya que libera de manera natural tanto iones H^+ y iones OH^-.**

En condiciones normales, las raíces de las plantas y los organismos del suelo pueden secretar ácidos y liberar iones hidrógeno a la solución y participar a una eventual ácidez. Los contaminantes atmósfericos originados por los motores de combustión de los vehículos y por

la actividad industrial, al solubilizarse con el vapor de agua en proceso de condensación, producen lo que se conoce comúnmente como, "**lluvia ácida"** que al infiltrarse en el suelo puede provocar ácidez.

Por otro lado, los minerales de las rocas que dieron origen del suelo, pueden ser fuentes abundantes de sustancias básicas o bases, que liberan al agua importantes cantidades del ion hidróxido. Es frecuente observar en nuestro país suelos con un origen de rocas calizas, con una baja concentración de iones hidrógeno y muy altas concentraciones de iones hidróxido.

El agua de riego puede ser ácida o básica y modificar las concentraciones de los iones en cuestión en la solución del suelo. Asimismo, los fertilizantes (sean naturales o sintéticos) pueden **acidificar** o **alcalinizar** la solución del suelo. En todo caso, cualquier aportación al suelo de sustancias que liberen H^+ o OH^-, van a modificar, en algún grado, esta característica química de la solución del suelo.

LA FÓRMULA DE SORENSEN (1909)

La fórmula propuesta por Sorensen sirve para simplificar y facilitar el manejo de las concentraciones iónicas del hidrógeno. Estas son muy pequeñas y en principio resultan díficiles de expresar, por lo que al transformarlas a una escala logarítmica facilita su y comprensión y uso cotidiano:

$$pH = log\left(\frac{1}{[H^+]}\right)$$

Al aplicar esta fórmula a una pequeña concentración de iones H^+, se obtiene un número mucho más grande y accesible:

$$pH = log\left(\frac{1}{1.0\ x\ 10^{-7}}\right) = 7.0$$

Si recordamos, en el agua pura, la concentración de $[H^+]$ y de $[OH^-]$ son iguales y tienen un valor de 1.0×10^{-7}, entonces: pH=7.0 y pOH=7.0 (en caso de contar con una fórmula similar para el ion hidróxilo). Lo anterior nos conduce a plantear ciertas consideraciones para el manejo de escalas logarítmicas:

1. Una concentración de, por ejemplo, **0.01 (1.0×10^{-2}) es muchas veces mayor que una concentración de 0.0000001 (1.0×10^{-7}). También que una concentración de 1.0×10^{-7} es mucho mayor que una concentración de 1.0×10^{-14}.**

Si sustituimos los valores en la fórmula de pH, tenemos:

$$pH\ [1.0 \times 10^{-2}] = 2.0$$

$$pH\ [1.0 \times 10^{-7}] = 7.0$$

$$pH\ [1.0 \times 10^{-14}] = 14.0$$

2. **A menores valores en la escala logarítmica de pH, la concentración de iones H^+ es mayor, por lo que la ácidez de una solución con pH=1.9 es DIEZ VECES MAYOR que en una con un pH=2.0.** Esto también significa que un pH=0, no solo puede existir teóricamente, sino que sería una solución extremadamente ácida. Afortunadamente, las soluciones de los suelo agrícolas no alcanzan tal grado de ácidez.

3. Un valor de pH= 14.0, significa que, prácticamente, no hay iones hidrógeno y hay una predominancia casi completa de iones hidróxilo.

Como ambas concentraciones de iones hidrógeno e hidróxilo son inversamente proporcionales en las soluciones, también los valores de pH y pOH son inversamente proporcionales. En una solución del suelo con la misma concentración de iones hidrógeno y de iones hidróxilo, su pH= 7.0 y su pOH = 7.0; diremos que es una solución neutra. Cuando el pH = 6.0 y el pOH = 8.0, se dice que es una solución ácida.

Esta relación entre el pH y el pOH, nos permite hacer el siguiente planteamiento:

$$pH + pOH = 14$$

Entonces: $pH = 14 - pOH$ y $pOH = 14 - pH$

DETERMINACIÓN DEL pH DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO

La reacción de la solución del suelo o pH se determina por medio de tiras de papel indicador o de manera más precisa, con un potenciometro o comúnmente llamado **"peachimetro"**. Los hay de campo o portátiles, o de mesa; como los que se usan en el laboratorio.

RANGOS DE pH EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Los valores de pH de los suelos agrícolas pueden variar desde **4.0 hasta 10.0**, y difícilmente sobrepasarán esos valores. La caracterización de los valores de pH del suelo se muestra en la siguiente tabla:

Rango	Caracterización
6.8 – 7.2	Neutro
6.8 – 6.5	Ligeramente ácido
6.5 – 5.5	Moderadamente ácido
5.5 – 4.5	Fuertemente ácido
< 4.5	Extremadamente ácido
7.2 – 7.5	Ligeramente alcalino o básico
7.5 – 8.5	Moderadamente alcalino o básico
8.5 – 9.5	Fuertemente alcalino o básico
> 9.5	Extremadamente alcalino o básico

IMPORTANCIA DEL pH DE LAS SOLUCIÓN DEL SUELO

EL pH Y LA ADAPTACIÓN DE LAS ESPECIES AGRÍCOLAS

Esta característica química del suelo es muy importante ya que influye en la adaptación, crecimiento y desarrollo de las especies agrícolas a ciertas regiones. Dependiendo del origen de las especies de plantas cultivadas, éstas se adaptan a ciertos valores de pH, y aunque pueden desarrollarse en un rango amplio, no alcanzan su máximo potencial productivo o, inclusive, pueden presentar problemas de crecimiento. En la diapositiva podemos notar que especies como: alfalfa, cebada, lechuga y apio, se producen bien en suelo con un pH moderadamente alcalinos. **Algunos portainjertos de vid y el guayabo requieren abiertamente suelos con un pH fuertemente alcalino mayor de 8.5, para producir fruta de alta calidad.**

La mayoría de los cultivos se desarrollan óptimamente en suelos con un pH neutro. No obstante, **los cítricos prefieren suelos con un pH moderadamente ácido (6.5 a 5.5) y el arándano exige un pH que va de fuerte a extremadamente ácido (menor de 5.5).**

Antes de intentar la introducción de una especie agrícola, o una nueva variedad, a una cierta zona o región, es recomendable consultar sus requerimientos de pH, para así evitarse pérdidas innecesarias. Muchos proyectos frutícolas han fracasado estrepitosamente debido a que no se tomaron precauciones técnicas en este punto.

EL pH Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO

El pH de la solución del suelo determina la disponibilidad de los elementos nutrientes esenciales o indispensables para la vida de las plantas. Dependiendo del pH de la solución del suelo, los elementos pueden estar **disponibles o asequibles para su absorción por las raíces de las plantas, o fijados químicamente o en una forma no aprovechable.** La fijación química significa que, aunque existan grandes cantidades de los elementos, éstos no pueden ser asimilados por las plantas ya que se integran a compuestos químicos insolubles, o poco móviles.

En la diapositiva podemos observar que, de acuerdo con el pH, las barras de los elementos se adelgazan cuando aumenta su fijación química. La anchura máxima de las barras significa que los elementos están completamente disponibles. Así es que, por ejemplo, **el nitrógeno** en un intervalo de pH de 6.0 hasta 8.0, su disponibilidad en el suelo es máxima, pero por debajo de 6.0 comienza su fijación química disminuyendo su disponibilidad, y también a valores de pH por arriba de 8.0.

El fósforo, potasio y azufre en suelos ácidos tiende a fijarse, mientras que a pH alcalinos su disponibilidad aumenta. **El calcio y el magnesio** presentan un rango de máxima disponibilidad de 6.5 a 8.5, y al aumentar la acidez o la alcalinidad también aumentan su fijación. **El hierro y el manganeso** tienen su mayor disponibilidad a valores de pH ácidos, y a valores alcalinos aumentan su fijación. **El cobre y el zinc** fijan a valores de alcalinidad.

Prácticamente todos los elementos presentados en la diapositiva tienen su intervalo de máxima disponibilidad a un valor de pH neutro.

Cuando el pH de la solución del suelo provoca la fijación química de los elementos esenciales, las plantas expresarán síntomas de deficiencia nutrimental, que pueden ser leves o severos; incluyendo la muerte, según sea la gravedad de la carencia o deficiencia.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 4. MÓDULO III. LOS ORGANISMOS DEL SUELO.

LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO (MICROFLORA DEL SUELO).

En el suelo de los ecosistemas poco intervenidos y de los agroecosistemas, existe una vasta maquinaria bioquímica que tiene un papel fundamental en el ciclo de la materia y en el flujo de energía. Esta maquinaria está integrada por miles de colonias y poblaciones de entidades biológicas que van desde los organismos procarioticos hasta una megafauna, cuya intervención en **la descomposición o degradación de la materia** es fundamental, ya que sirven de intermediario entre los organismos autótrofos y heterótrofos superiores. No obstante, en el suelo también existen microorganismos autotróficos fotosintéticos y quimiosintéticos.

Además de intervenir en la descomposición y reciclaje de la materia orgánica, los organismos del suelo también juegan un importante papel en los ciclos de la materia inorgánica, al ser actores indispensables en **los ciclos biogeoquímicos**.

Las cadenas y redes alimenticias están compuestas por organismos autótrofos o PRODUCTORES, que, en su mayor parte, son las plantas que producen sus propios alimentos por el proceso de **la fotosíntesis**. La biomasa fijada por los organismos productores también es aprovechada por los heterotrófos o CONSUMIDORES, que a su vez pueden ser, **primarios, secundarios, tercearios**, según sea su nivel de participación en la fijación de biomasa.

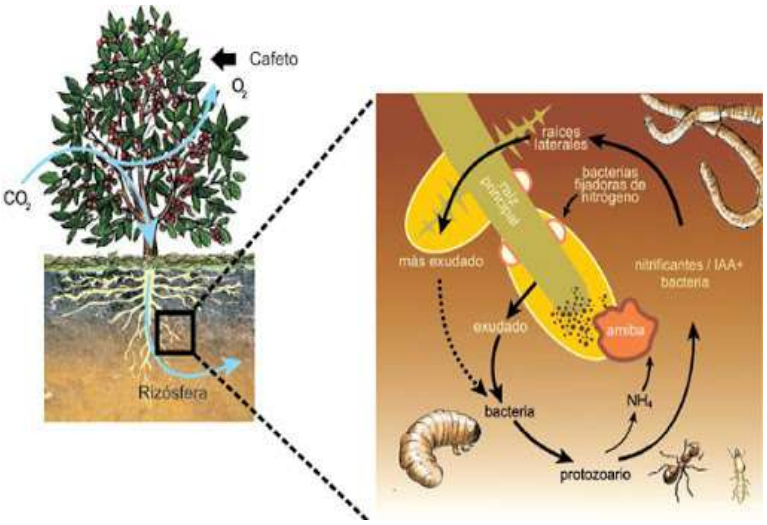
Al morir los organismos productores y consumidores, su materia es gestionada por los organismos DESINTEGRADORES o DESCOMPONEDORES que devuelven los materiales elementales para ser aprovechados nuevamente por las sucesivas generaciones de organismos. El suelo es el reactor donde se llevan a cabo las reacciones enzimáticas de descompición de la materia y donde se regenera su fertilidad, siempre y cuando se mantega la presencia de los organismos.

Decimos con insistencia que **el suelo es un cuerpo vivo** debido a la presencia de los organismos que se han adaptado a este sistema, y cuando la vida del suelo llega a agotarse o, por efecto de las actividades humanas, la vida desaparece, el suelo pierde todas sus propiedades productivas, y éste deja de cumplir su rol ecológico.

Los actuales **Sistemas de producción agrícola**, que privilegian la obtención de altos rendimientos y poca atención le conceden al mantenimiento de la vida del suelo, son exagerados e irresponsables consumidores de fertilizantes de síntesis y sustancias quimicas variadas que a corto plazo aniquilan a los organismos del suelo y lo contaminan a grados que los propios alimentos que se producen dejan de ser fuentes de satisfactores alimenticios seguros.

La vida del suelo está sustentada por la presencia de **una flora y una fauna**, es decir, por una microflora integrada por **bacterias**, **hongos** y **algas**. También nos encontramos con una gran variedad de **animales**, que en su mayoría son **artrópodos**, los cuales han sido agrupados en **microfauna**, **mesofauna** y **macrofauna**.

LA RIZOSFERA



Si bien todo el suelo puede estar colonizado por la flora y la fauna, existe una zona en las proximidades de las raíces de las plantas donde se encuentra una mayor densidad poblacional. Esta zona se denomina como la **rizosfera**, la cual es un verdadero **nicho ecológico** donde hay un ambiente único y funcional debido a las complejas **relaciones bióticas** que solo aquí se dan, por lo que **la vida en el suelo es el resultado de todo un trabajo de equipo perfectamente organizado.**

BACTERIAS

Las bacterias son microorganismos procariotas, es decir, sin núcleo definido ni orgánelos. Estos organismos se clasifican de muy variadas maneras. Las hay, **Gram positivas** y **Gram negativas**, **Aerobias** y **anaerobias**, o **Autotróficas** y **Heterotróficas**. Las bacterias autotróficas obtienen su energía a partir de sustratos minerales y el Carbono del CO_2 de la atmósfera del

suelo, mientras que las bacterias heterotróficas obtienen su energía de los materiales orgánicos de los productores u organismos autotrófos vivos o muertos.

La gran mayoría de las bacterias heterotróficas son organismos saprófitos, es decir, que su alimento es, preponderantemente, la materia orgánica en descomposición y participan en su degradación, y solo unas cuantas especies de estas bacterias son **fitopatógenas**, lo que significa que viven de tejidos de plantas vivas y les causan enfermedades.

Sin embargo, existen bacterias heterotróficas llamadas **fijadoras de nitrógeno** que son capaces de asimilar el nitrógeno atmósferico (N_2) e incorporarlo al suelo a formas asimilables por las plantas y otros organismos. Existen bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno **libres** y **simbióticas**.

Las bacterias heterotróficas fijadoras de nitrógeno simbióticas más conocidas son las del género ***Rhizobium*** porque son capaces de tener una relación de **simbiosis** con las raíces de plantas pertenecientes a la familia de las **leguminosas**. Esta relación simbiótica consiste en que las bacterias colonizan las raíces de plantas leguminosas formando **nódulos** donde estos microorganismos encuentran albergue y sustancias nutritivas, pero pagando su alquiler proporcionando nitrógeno a las plantas. Esta relación es benéfica tanto para las plantas como para las bacterias; sin duda una forma de cooperación natural tan sorprendente como efectiva.

Las bacterias autotróficas generalmente oxidan sustratos inorgánicos específicos de nitrógeno, azufre o hierro para obtener su energía y son capaces de captar el CO_2 atmosférico, descomponerlo y aprovechar su carbono para incorporalo a sustancias orgánicas. Las más estudiadas son las **bacterias autotróficas nitrificantes**, las cuales participan en la oxidación de compuestos como el **amoniaco (NH_3) y su forma ionica, el amonio (NH_4^+)** para convertirlos a formas asimilables como los **nitratos (NO_3^-).** Esta transformación requiere de una serie de reacciones enzimáticas donde participan de forma concertada varias especies de estas bacterias.

En condiciones anaeróbicas, ciertas especies de bacterias se han especializado por **la desnitrificación**, es decir, la conversión de nitratos a formas amoniacales.

Las bacterias autotróficas oxidantes del azufre utilizan como sustratos a compuestos azufrados como, **el ácido sulfhídrico (H_2S), al azufre elemental (S^0) y al thiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) para transformalos en sulfato (SO_4^{2-}).**

Por su parte, **las bacterias autotróficas oxidantes del hierro** utilizan al **hierro ferroso (Fe^{2+})** y lo transforman a **hierro férrico (Fe^{3+}).**

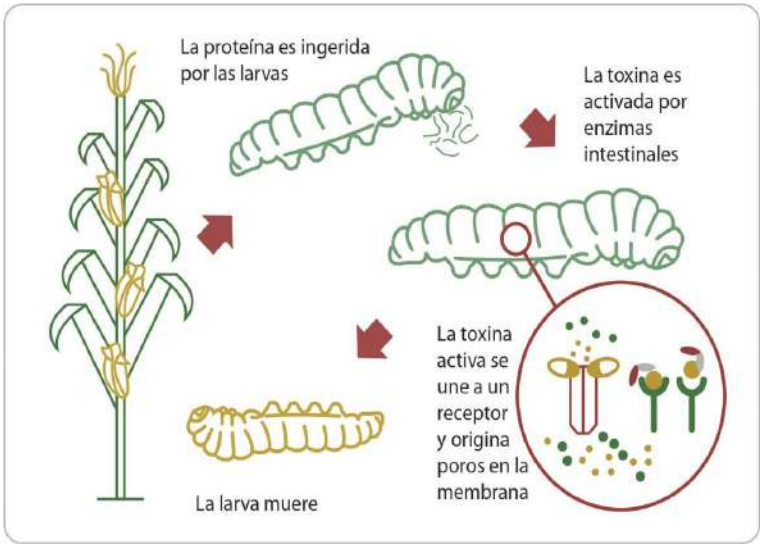
RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR)

Recientemente se han estudiado un grupo de géneros y especies de bacterias que se han aislado de la rizosfera de suelos de selvas y bosques que se ha descubierto que favorecen el crecimiento vegetal debido a que al interaccionar con las raíces de las plantas:

- **Producen hormonas vegetales promotoras del crecimiento vegetal.**
- **Solubilizan los fosfatos inorgánicos y los hacen más asimilables.**
- **Aumentan la disponibilidad de Fe.**
- **Producen antibióticos y sustancias que inducen resistencia a agentes patógenos.**

Estas especies de bacterias cada vez más se están utilizando en la agricultura moderna como activadores del suelo, mejoradores de la fertilidad y biopesticidas.

Bacillus thuringiensis (Bt)

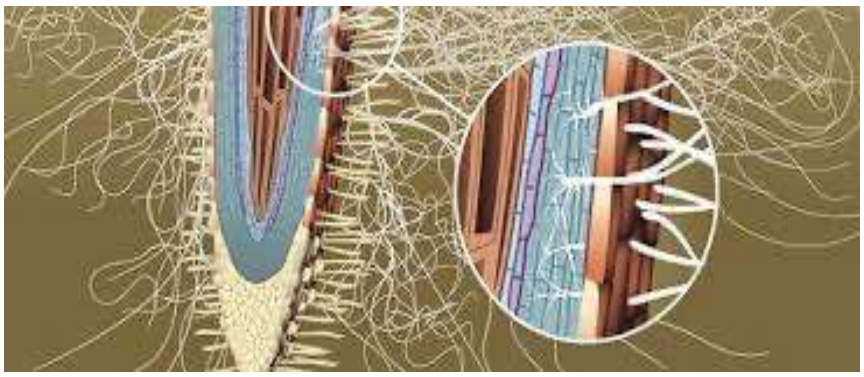


Esta especie de bacteria se ha utilizado ampliamente en la agricultura ya que naturalmente produce una proteína que sirve como tóxina contra insectos de los ordenes, Lepidóptera, Coleóptera y Díptera, que a su vez son **plagas agrícolas** que producen enormes daños a los cultivos a nivel mundial. Al principio se logró aislar la tóxina y producirla para la formulación de **bioinsecticidas** inocuos a ser humano y amigables con el ambiente. Hace pocos años, se logró tranferir los genes que codifican la producción de la tóxina de la bacteria a los mismos cultivos, así surgieron los **cultivos Bt**, que son organismos geneticamente modificados (**OGM**).

HONGOS

Los hongos son organismos pertenecientes al reino ***Fungi*** que es un taxón muy amplio y divesificado, que va desde los **hongos setas** hasta un amplio espectro de microorganismos eucariotes que habitan dentro del suelo. **Los hongos del suelo se caracterizan por su capacidad de degradar los compuestos más complejos de la materia orgánica**, como la **celulosa y la lignina**. Con su amplio y poderoso arsenal de enzimas, son los microorganismos casi especializados en estos compuestos (algunas bacterias también pueden degradar la celulosa), iniciando la descomposición de los residuos de cosecha con una alta relación C:N, por ejemplo, y liberando materiales más simples de digerir para la acción de levaduras y bacterias y así completar el trabajo de mineralización.

LAS MICORRIZAS



Las micorrizas son **hongos simbióticos** con las raíces de plantas en suelos de bosques y selvas. A diferencia de las bacterias fijadoras de nitrógeno que forman nódulos, las micorrizas inoculan y penetran las raíces absorbentes y su micelio sale al exterior de éstas formando una suerte de **extensiones radiculares** que poseen una gran capacidad para la absorción de agua y la absorción selectiva de nutrientes como el **nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn)**.

HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Algunas especies de hongos producen sustancias que controlan poblaciones de plagas de nematodos o insectos de los cultivos. Estas sustancias se han formulado en productos comerciales seguros y ecológicos.

ALGAS

En el ecosistema del suelo, las algas son los microorganismos autotrófos que habitan en los microporos del suelo y en las películas de agua que los recubren de suelos de bosque y selva. Son abundantes en medios acuáticos, sin embargo, las podemos encontrar en climas áridos y

semiáridos en asociación con cianobacterias, hongos filamentosos y levaduras formando **costras criptobióticas**.

Las algas del suelo se clasifican en: **algas verdes, algas verde-dorado, algas rojas y diatomeas.**

Al aprovechar la sílice del medio que las rodea, algunos géneros de algas forman **exoesqueletos**, y son llamadas **DIATOMEAS**. En los ecosistemas terrestres, las diatomeas se producen principalmente en suelos neutros a ligeramente alcalinos, donde sus poblaciones pueden alcanzar importantes densidades.

LOS ANIMALES DEL SUELO (FAUNA DEL SUELO).

Los animales del suelo se pueden dividir en: **microfauna, mesofauna, macrofauna y megafauna.** En nuestro caso solo revisaremos los ejemplos más importantes de las primeras tres categorías, dejando de lado a la megafauna, ya que, aunque pueden vivir en el suelo, su papel en este sistema puede limitarse a la aportación de sus restos cuando mueren y varias especies de roedores representan plagas que atacan los cultivos.

MICROFAUNA

Los animales más estudiados pertenecientes a la microfauna del suelo son **los protozoos o protozoarios, los rotíferos y los tardígrados.** Generalmente son animales microscópicos eucariotas que se alimentan de materiales orgánicos simples en descomposición, bacterias hongos y algas.

PROTOZOARIOS

Los protozoos pertenecen a dos Phylum: ***Sarcomastigophora*** y ***Ciliophora***. Se consideran cuatro grupos ecológicos: **los flagelados, amebas desnudas, testacéos y ciliados**. Se reproducen asexualmente por fisión, o por singamia o fusión de dos células, o por medio sexual por la unión de núcleos haploides de dos individuos.

ROTÍFEROS

Los rotíferos se encuentran en la materia orgánica como la hojarasca en suelos de climas templado y frío. Al igual que los nematodos y tardígrados pueden adoptar un estado resistente desecado (anhidrobiosis) en cualquier etapa de su vida en respuesta al estrés ambiental. Cuando desaparece el estrés, se rehidratan y se activan nuevamente. Se alimentan de algas unicelulares y bacterias.

TARDÍGRADOS

Los tardígrados del suelo pueden vivir en condiciones extremas, por lo que se consideran organismos **extremofilos**, y forman parte de las cadenas y redes tróficas del suelo al alimentarse de algas, bacterias, hongos, rotíferos, nematodos y otros invertebrados.

MESOFAUNA

La mesofauna del suelo está constituida principalmente por **colémbolos, nematodos y enquitreidos,** que son animales invertebrados de mayor tamaño que los que constituyen la microfauna.

COLÉMBOLOS

Los colémbolos los podemos encontrar en cualquier tipo de suelo. Un metro cuadrado de suelo forestal puede contener cientos de miles de individuos que representan a miles de especies. Se llegan a alimentar de nematodos, pero sobre todo de individuos de la microfauna, pero a su vez, son alimento de arañas, escarabajos, hormigas y ciempiés; puenteando así una conexión trófica entre la microfauna y la macrofauna.

NEMATODOS

Son organismos multicelulares que se encuentran en cualquier ecosistema. Se ha estimado que cuatro de cada cinco animales en el suelo, son nematodos. De manera similar a los protozoarios, rotíferos y tardígrados, los nematodos viven en las películas de agua o espacios ocupados por el agua en los suelos. La forma de su cuerpo es cilíndrica y estrecha en los extremos y tienen un sistema digestivo complejo que consiste en un estoma o estil, faringe (o esófago), intestino y recto. Los nematodos tienen una amplia gama de hábitos alimenticios, desde los que se alimentan de bacterias y hongos, los que son fitófagos (parásitos de plantas), hasta depredadores de otros animales y omnívoros.

ENQUITREIDOS

Los enquitreidos son organismos oligoquetos de la familia Enchytraeidae. Es un grupo de pequeños gusanos sin pigmentar (blancos) y consta de unas 600 especies en 28 géneros. Especies de 19 de estos géneros se encuentran en el suelo, el resto se desarrollan en otros hábitats. Es frecuente encontrarlos en suelos de bosques húmedos de climas templados ricos en materia orgánica, pero también han sido encontrados en regiones semiáridas y tropicales. Los enquitreidos son típicamente de 10 a 20 mm de longitud y son anatómicamente similares

a las lombrices de tierra, a excepción de la miniaturización. Estos animales pueden ingerir partículas minerales y orgánicas del suelo, aunque se ha observado que se alimentan de materiales vegetales finamente divididos a menudo enriquecidos con colonias de bacterias o hifas de hongos, los que representan su dieta principal. Los tejidos microbianos son probablemente la fracción más fácilmente asimilable ya que los enquitreidos carecen de las enzimas intestinales para digerir materia orgánica más recalcitrante.

MACROFAUNA

La macrofauna del suelo está constituida de poblaciones de muchas especies de animales cuyos cuerpos van desde unos 10 mm a 15 cm. Esta categoría se compone de **arañas, miriápodos, ciempiés, milpiés, cigarras, etapas larvales de escarabajos, las lombrices de tierra, las hormigas y las termitas.** Los últimos tres grupos de animales parecen tener mayor presencia y actividad en el suelo.

LOMBRICES DE TIERRA

Las **lombrices de tierra** son los animales de la macrofauna que mayor influencia tienen en la dinámica del suelo. La importancia de las lombrices de tierra radica en su influencia en la formación de agregados y agregados, y por lo tanto en la estructura del suelo, y en su participación en la descomposición de la materia orgánica. Las lombrices se consideran indispensables agentes formadores del suelo y en la descomposición y distribución de la materia orgánica.

Las lombrices de tierra se clasifican en el Phylum Annelida y en la Clase Oligochaeta. Las especies de las Familias Lumbricidae y Megascolecidae son ecológicamente las más importantes en América del Norte, Europa, Australia y Asia. Algunas de estas especies han sido introducidas a todo el mundo por la acción humana y ahora dominan la fauna de lombrices en muchas zonas templadas. Estos animales son considerados como los ingenieros ecosistémicos por su papel en la transformación de la materia orgánica en materiales húmicos y sustancias estabilizadoras de la estructura del suelo.

HORMIGAS

Las hormigas son artrópodos de la Familia Formicidae que se distribuyen ampliamente en los ecosistemas árticos, tropicales y desérticos. Alrededor de un tercio de la biomasa animal de la selva amazónica está compuesta por hormigas y termitas, donde cada hectárea puede contener más de 8 millones de hormigas y 1 millón de termitas. Además, las hormigas tienen un gran impacto en los ecosistemas, ya que son los principales depredadores de pequeños

invertebrados. En las zonas desérticas, donde la densidad de lombrices de tierra es baja, las hormigas mueven grandes cantidades de suelo con un nivel de agregación importante.

TERMITAS

Junto con las lombrices de tierra y las hormigas, las termitas son el tercer grupo de invertebrados que encontramos en el suelo. Si bien las termitas se distribuyen principalmente en las regiones tropicales, también podrían estar presentes en zonas templadas. Las termitas de familias primitivas como, Kalotermitidae, poseen una flora intestinal abundante en protozoarios, lo que les permite digerir la celulosa. Los miembros de la familia Termitidae no tienen simbiontes protozoarios, pero poseen en su intestino una formidable variedad de bacterias y hongos. Existen tres grupos de especies de termitas de acuerdo con sus hábitos alimenticios: **las que se alimentan de la madera, las que se alimentan de humus y las que cultivan hongos**. Estas últimas carecen de simbiontes en sus intestinos y dependen del hongo cultivado para su nutrición. Algunos géneros de termitas tienen, en su flora intestinal, bacterias fijadoras de nitrógeno en cantidades del orden de 0.7 a 21 g de N al día por gramo de peso fresco.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No.5. MÓDULO III. LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO.

La materia orgánica es la sangre del suelo, es una frase muy cierta y atinada si consideramos que el suelo es el reactor biológico del ecosistema. El funcionamiento de este reactor permite el reciclamiento de la materia, ya que la enorme y compleja maquinaria bioquímica que alberga, tiene por trabajo la desintegración y descomposición de la materia que compone a los seres vivos del planeta, y es el déposito de los ciclos biogeoquímicos. Así como en los ecosistemas terrestres y acuáticos se encuentran la mayoría de los organismos autotrófos y heterotrófos, en el suelo vive la gran mayoría de los organismos **desintegradores o descomponerdores.** Sin embargo**, sin materia orgánica no hay vida.**

La materia orgánica (MO) proviene de la **producción primaria** de todos los organismos autrófos o productores; **plantas, bacterias autotróficas y algas**. Todo el volumen de biomasa se produce por procesos como la **fotosíntesis y quimiosíntesis**, y se organiza de manera variada, pero teniendo como como constante que el elemento estructural es el **CARBONO (C).**

FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA

La producción primaria puede ser transformada en producción secundaria dentro de las cadenas y redes tróficas tomando estructuras desde las más complejas a las más simples; por lo que las fuentes de materia orgánica pueden ser muy variadas:

- Los cuerpos de todos los seres vivos representan una fuente importante de materia orgánica una vez que cumple con su ciclo de vida.
- Orgános vegetales y deshechos animales.
- Residuos de cosecha (raíces de los cultivos que no se cosechan).
- Heces fecales y orina (estiércoles).
- Residuos de productos agrícolas o de origen animal domésticos.
- Deshechos de procesos agroindustriales como el bagazo de la caña de azúcar, cascarilla de café o arroz, bagazo de maguey, hollejo de aceitunas o uvas, etc.
- Residuos de desrrames, deshojes y podas de pasto, arbustos y árboles.
- Deshechos de rastros y mataderos (sangre, piel, pezuñas, pelos, viceras, etc.).
- Derivados del compostaje (compostas de deshechos orgánicos, lombricompostas, etc.).
- Aguas residuales de urbanizaciones.

COMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.

La materia orgánica está compuesta de **sustancias inórganicas** como **el agua y sales minerales** y **sustancias orgánicas: Carbohidratos, Proteínas, Lípidos, Vitaminas, Ácidos nucleícos, Metabolitos secundarios, Polímeros estructurales, etc.**

La materia orgánica de origen vegetal la cosntituyen principalmente carbohidratos como **la celulosa, hemicelulosa, azúcares, almidones.** También podemos encontrar concentraciones importantes de **lignina y taninos.** Además de aminoácidos, proteínas y lípidos en cantidades variables. Cuando la materia orgánica vegetal es verde, existe hasta un 85% de agua. Las semillas aparentemente secas pueden tener hasta un 20% de agua. A estos dos estados de la materia orgánica vegetal se les denomina comúnmente como: **materia fresca y materia seca**, (peso fresco y peso seco), respectivamente.

DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO.

La evolución de la materia orgánica en el suelo también llamada descomposición de la materia orgánica, puede describirse en dos procesos: **la mineralización y la humificación.**

MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.

Siempre, por la acción de los organismos del suelo, la materia orgánica puede ser gradualmente descompuesta y desintegrada a sus componentes más simples, y luego hasta llegar a liberar moléculas, átomos o iones, susceptibles a ser absorbidos nuevamente por las plantas o consumidos por los organismos. En una primera etapa, las proteínas puede ser degradadas a aminoácidos; los carbohidratos a glucosa y los lípidos a ácidos grasos. Luego, estas moléculas simples pueden ser desintegradas a átomos o moléculas.

Por la mineralización de la materia orgánica, el suelo recupera su fértilidad y es capaz de suministrar nutrientes a los cultivos cada ciclo. No obstante, es un proceso que requiere tiempo para realizarse y que está sujeto a la influencia de factores como la temperatura, humedad, cantidad y calidad de la materia orgánica y la presencia de organismos del suelo.

HUMIFICACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

En términos sencillos la humificación es la producción de **humus** a partir de la materia orgánica por acción de los microorganismos del suelo. **El humus es la fracción resistente de la materia orgánica que ha sido elaborada por medio de una descomposición parcial y luego por reconstrucción bacteriana a compuestos polifenólicos amorfos, relativamente estables y con**

actividad eléctrica. Estos compuestos son principalmente, **ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.**

RELACIÓN CARBONO:NITRÓGENO DE LA MATERIA ORGÁNICA

La velocidad de la mineralización de la materia orgánica está en gran parte determinada por su estructura química y por la **cantidad de carbono con relación a la cantidad de nitrógeno.** A esta proporción entre estos dos elementos se le llama: **RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO (C:N).**

Existen materiales orgánicos que presentan **una alta relación C:N**, como la madera o el aserrín (500-700:1); mientras que la alfalfa seca tiene **una baja relación C:N** (12:1). A mayor cantidad de carbono, los materiales tardan más tiempo en degradarse y por lo tanto, la liberación de nutrientes es mucho más lenta. De acuerdo con lo anterior, si incorporamos aserrín al suelo para abonar el suelo, tenemos que esperar muchos meses, y hasta años, para que el nitrógeno contenido en este material sea nuevamente aprovechable; mientras que, si utilizamos paja de fríjol, a las pocas semanas detectaremos una lenta, pero pronta liberación del nitrógeno. Siempre y cuando tengamos organismos en el suelo.

A nivel práctico, la relación C/N cobra sentido cuando los productores, no importando el tipo de material orgánico utilizado, esperan obtener altos rendimientos en su próximo cultivo. La mineralización toma su tiempo y es posible que en un par de meses no tengamos ningún aporte importante de nutrientes, y aún más, si utilizamos materiales orgánicos con una alta relación C/N, los rendimientos de los siguientes cultivos pueden, incluso, bajar. La razón de que suceda lo anterior es que los organismos del suelo requieren de nitrógeno para degradar esos materiales y lo tomarán del existente, en ese momento, del suelo, o del nitrógeno que aportamos para la fertilización del cultivo.

Se ha observado que los tejidos de las **plantas leguminosas** (fríjol, soya, cacahuate, haba, chícharo, garbanzo, haba, alfalfa, trébol y ebo) tienen relaciones C/N bajas, y los tejidos de las plantas de la familia de las **gramíneas**, tienen relaciones C/N altas. También ha sido mencionado que los tejidos de plantas jóvenes tienen una relación C/N más bajas que cuando maduran y se secan. Así las pajas y rastrojos de trigo, avena, arroz y maíz (gramíneas) su relación C/N va desde 70 a 150:1; mientras que las pajas secas de fríjol tienen una relación C/N aproximadamente de 15:1.

En definitiva, los mejores materiales orgánicos para mantener la fertilidad del suelo (no para fertilizar cultivos) son **los derivados de tejidos frescos de leguminosas y los estiércoles**. Se

recomienda la práctica de **la incorporación de abonos verdes**, que consiste en la siembra de leguminosas, y antes de que se inicie la floración, se incorporan al suelo con una rastra.

El estiércol de aves (gallinaza y pollinaza) se recomienda ampliamente para suelos calcáreos con pH elevados.

FUNCIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA.

A la luz de la experiencia técnica y práctica, a menos que calculemos perfectamente bien las cantidades de materia orgánica e identifiquemos sus características estructurales, la materia orgánica no cumple el propósito del suministro absoluto de nutrientes para los cultivos; **en cambio sus beneficios en otros aspectos del suelo son de enorme importancia.**

LA MATERIA ORGÁNICA COMO PROTECTOR DEL SUELO

Si utilizamos materiales orgánicos sobre la superficie del suelo evitaremos su erosión al servir como un amortiguador de la energía cinética de las gotas de lluvia; además de favorecer una mayor captación e infiltración de esta agua; disminuir la evaporación; regular la temperatura y aumentar el intercambio gaseoso con la atmósfera. A esta técnica se le denomina; **acolchado del suelo** o **mulching. Es posible que también evitemos la emergencia de maleza que pueda competir por agua, luz y nutrientes con nuestro cultivo.**

LA MATERIA ORGÁNICA COMO MEJORADOR DEL SUELO

La materia orgánica mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Al aumentar la agregación de las partículas del suelo se modifica favorablemente la estructura y con ello la porosidad y la densidad aparente. En conjunto, estos beneficios se resumen en una mayor retención de agua, más eficiente flujo de aire y mejor drenaje. En el aspecto químico, la incorporación de materia orgánica nos brinda dos beneficios invaluables: **la producción de humus y la liberación de cationes**, en combinación **aumentan el complejo de adsorción y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).** No menos importante es que la materia orgánica produce un **efecto químico amortiguador a los cambios bruscos de pH, derivados por la adición de bases o ácidos al suelo. A este efecto se le llama CAPACIDAD BUFFER o CAPACIDAD AMORTIGUADORA.**

LA MATERIA ORGÁNICA COMO ALIMENTO DE LOS ORGANISMOS DEL SUELO.

Los organismos del suelo para vivir necesitan de existencia de la materia orgánica, es decir, la vida del suelo depende de los organismos, y éstos de la materia orgánica. **Para mantener la vida en el suelo es imprescindible la materia orgánica.** En presencia de materia orgánica, los microorganismos nos garantizan sus múltiples beneficios como:

- Producción de secreciones, humus y sustancias estabilizadoras de la estructura del suelo.
- Fijación de nitrógeno atmosférico y aumento de la capacidad de absorción de las plantas (micorrizas).
- Nitrificación y desnitrificación.
- Producción de sustancias orgánicas que solubilizan de nutrientes minerales.
- Oxidación de compuestos insolubles y poco móviles.
- Mineralización de la materia orgánica.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No.6. MÓDULO III. COSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA.

Vivimos en un mundo físico cambiante, dinámico y vivo. El planeta Tierra es el hogar temporal de la humanidad y dentro de unos 5000 millones de años lo tendremos que abandonar y mudarnos a otro lugar. Mientras tanto, tenemos que cuidar los recursos que tenemos a la mano para sobrevivir, y dentro de ellos se encuentra **el suelo**.

Desde el mismo momento en el que se empezó a formar el suelo, también comenzó un proceso de destrucción; al final el balance favoreció a la acumulación de material edáfico y al desarrollo y diferenciación de éste. Los procesos de intemperización física, química y bioquímica producen materiales precursores, pero la misma naturaleza crea las condiciones para la construcción del suelo. De manera natural se crea y se destruye al suelo en un incesante ritmo que se mantiene al paso del tiempo. No obstante, con la intervención de la humanidad, desde hace unos 10, 000 años, la velocidad y magnitud de destrucción del suelo se agudizan de manera alarmante, haciendo peligrar la sobrevivencia de las generaciones humanas futuras.

LA DEGRADACIÓN DEL SUELO Y SUS CONSECUENCIAS.

Existe una desafortunada relación directa entre la degradación del suelo, natural o inducida, con fenómenos como **la falta de alimentos, hambrunas, pobreza**, **desnutrición**, **marginación** y **dependencia** de grandes grupos humanos en el mundo. Las fotografías de niños con grados de desnutrición dramáticos en África, no solo nos ilustran la gravedad del problema, sino que también nos hacen recordar que en nuestro país este fenómeno también existe. Lejos de lo que podría pensarse que los Estados del Sur como, Oaxaca, Chiapas y Guerrero, serían los únicos ejemplos de esta problemática; existe una situación en las zonas periurbanas de las grandes metrópolis mexicanas y también amplias zonas de los Estados de San Luis Potosí, Coahuila, Durango y Chihuahua que nos muestran el mismo y lacerante rostro.

LA PÉRDIDA DEL POTENCIAL PRODUCTIVO DEL SUELO.

La formación y acrecentamiento de los desiertos es un fenómeno natural y global. Muchas regiones desérticas del mundo, hace millones de años, durante el periodo Carbonífero, fueron selvas y pantanos con una exuberante vegetación, lo que dio origen que amplias regiones del Medio Oriente cuenten ahora con vastas reservas de petróleo. Las selvas de la actualidad, podrían ser los desiertos de mañana. Es así la naturaleza.

La desertificación del suelo es un fenómeno de muy corto plazo que destruye su potencial productivo y que desemboca en condiciones de tipo desértico. Es una consecuencia de la

acción humana que conduce al deterioro de los **agroecosistemas**. Si bien es cierto que los suelos de los climas secos están más próximos a la desertificación, lo es también que aquellos de climas cálido-húmedos; de bosques y selvas, si no se manejan adecuadamente, pueden deteriorarse rápidamente. La agricultura de las **Zonas Tropicales**, deben tomar mucho en cuenta esto.

EROSIÓN

La erosión es el proceso físico de desprendimiento y arrastre acelerado de los materiales valiosos del suelo por la acción directa del agua de lluvia y del viento.

Miles de hectáreas de selvas tropicales son deforestadas anualmente, dejando sin una protección al suelo y perdiéndose éste en periodos de tiempo muy cortos. Actividades como la agricultura, ganadería, explotación de la madera, la minería o el asentamiento de nuevos núcleos poblacionales, ponen en riesgo las zonas arboladas del mundo. En México, la invasión y colonización de la selva en Los Chimalapas (Oaxaca), es un ejemplo ilustrativo de este problema.

Existen dos tipos de erosión: **Geológica o Natural y la Inducida.** La segunda es la más importante, y es la producida por las acciones irresponsables e irreflexivas del ser humano.

El cambio del uso del suelo es la causa más frecuente de la degradación del suelo por erosión. Cuando los bosques y las selvas se talan para establecer **zonas agrícolas o potreros** y, por otro lado, se realizan prácticas de manejo inadecuadas; el deterioro está garantizado.

AGENTES DE LA EROSIÓN

El ser humano no provoca la erosión directamente, sino que **precondiciona al suelo para que agentes como el agua de lluvia y el viento actúen y causen la erosión.** Así, la erosión causada

por el agua de lluvia se denomina **erosión hídrica**, mientras que la causada por el viento se llama, **erosión eólica.**

FACTORES QUE AFECTAN A LA EROSIÓN HÍDRICA

Para comprender mejor el proceso de erosión hídrica, pensemos en dos fuerzas que se oponen: **la fuerza que provoca la erosión y la fuerza que se resiste a la erosión.** La fuerza que provoca la erosión está influida por los siguientes factores:

- **Características de las lluvias.** En el territorio de nuestro país se presentan habitualmente lluvias llamadas **aguaceros o chaparrones** que se caracterizan por una alta intensidad de muy corta duración. En unos pocos minutos se precipita una importante cantidad de lluvia. El agua no tiene oportunidad para infiltrarse al suelo y comienza a fluir sobre su superficie y buscando siempre un menor desnivel. Las corrientes (**escorrentías**) crecen llevándose en suspensión grandes cantidades de suelo. En contraste, una **llovizna** constante y pertinaz durante varias horas permite que el suelo capte esa agua y no se presenta la formación de escorrentías.

- **Pendiente y área del terreno.** Los suelos con una apreciable inclinación o pendiente son más susceptibles a sufrir un mayor grado de erosión hídrica. Entre mayor sea el área inclinada y mayor la pendiente; también mayor será el volumen de suelo removido por el agua que escurre.

- **Capacidad del suelo para la absorción de agua de lluvia.** La superficie del suelo que no posee vegetación, ni materia orgánica tiene una menor capacidad para la absorción de agua, aunado a las características físicas de los diferentes horizontes del perfil. Un menor contenido de materia orgánica dará como resultado una menor capacidad de infiltración y percolación del agua a través del suelo. Suelos arenosos y poco estructurados son susceptibles a una más intensa erosión.

Los factores de resistencia a la erosión son:

- **La vegetación** representa un poderoso escudo contra la erosión. Los suelos cubiertos de vegetación son más resistentes a la erosión hídrica.

- **Los suelos bien estructurados y con un mayor contenido de materia orgánica** soportan mejor los embates de la erosión hídrica. Mayor porosidad, y por ende, mayor capacidad de retención de agua son las condiciones ideales.

EROSIÓN EÓLICA

La erosión eólica es la provocada por la fuerza del viento ejercida contra las partículas del suelo, las cuales son removidas de su sitio original por tres mecanismos: DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL o RODAMIENTO, SALTACIÓN y SUSPENSIÓN.

Cualquier zona es susceptible a sufrir erosión. Los terrenos planos generalmente presentan estragos de la **erosión eólica**, mientras que los suelos con pendiente, las formas de **erosión hídrica** son las que más se observan. Así también, las superficies sin vegetación tienden a ser atacadas tanto por la erosión eólica, como hídrica.

Los **cultivos de cobertera,** que cubren toda la superficie de un terreno, son los recomendados técnicamente cuando deseamos prevenir daños por la erosión. En la diapositiva se presenta un suelo con una buena protección de un cultivo de avena.

Podemos instalar dispositivos para determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto de la erosión hídrica. Estos dispositivos captan las escorrentías de una superficie conocida y recuperan el material edáfico para pesarlo y calcular el grosor de suelo perdido en condiciones de vegetación y sin vegetación.

Se intenta evitar el crecimiento de **cárcavas** con materiales como llantas de autos, como se aprecia en las fotografías.

SEVERIDAD DE LA DEGRADACIÓN Y DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LOS SUELOS EN AMÉRICA LATINA.

El subcontinente presenta graves problemas de degradación de suelos, donde México no se escapa a este serio problema. Las selvas tropicales se talan a un ritmo cada vez más alarmante en nuestro país, Centroamérica y Sudamérica. No obstante, la República Mexicana presenta los niveles más altos de severidad de la erosión hídrica, concentrándose principalmente en Centro y Sur de México. En cuanto a la erosión eólica, solo una parte del Centro Norte presenta una severidad alta.

FORMAS DE EROSIÓN

Las formas de erosión hídrica son las que más frecuentemente podemos encontrar, y de todas ellas, las formas **en canales y cárcavas** las de mayor intensidad de la erosión.

MECANISMOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica se produce por los siguientes **mecanismos**:

- **Salpicamiento o impacto.** Este mecanismo se produce cuando las gotas de lluvia que traen una gran energía cinética se impactan contra las partículas del suelo, rompiendo su estructura y haciéndolas volar a una distancia que puede alcanzar los 2 a 3 metros.

- **Escorrentía y suspensión.** El agua que no se absorbe por la superficie del suelo corre buscando un desnivel llevando en suspensión una gran cantidad de partículas de humus, materia orgánica y arcilla.

CAUSAS DE LA EROSIÓN.

Las causas de la erosión las podemos agrupar en: **Directas e Indirectas.** Las causas directas son las que exponen al suelo para que los agentes activos (agua de lluvia y aire) causen la erosión. Las causas indirectas tienen una influencia determinante para que se presente la erosión, pero de manera indirecta.

CAUSAS DIRECTAS DE LA EROSIÓN.

DEFORESTACIÓN.

El aprovechamiento irracional de los recursos forestales ya sea de bosques templados o selvas tropicales, ha provocado, y sigue provocando que enormes superficies del territorio nacional queden desforestadas y con signos muy serios de erosión. Muchas comunidades agrarias con zonas arboladas han concesionado sus recursos a empresas trasnacionales, con el aval de los gobiernos estatales y el Federal, y se ha abusado de la extracción de la madera. Aunque en los convenios firmados se hace alusión a la renovación y siembra de nuevos

árboles, en la práctica estas empresas se han dedicado solo a expoliar la riqueza de estas comunidades.

TALA INMODERADA

La tala inmoderada de árboles es cuando el corte de éstos no respeta ningún criterio técnico de aprovechamiento racional y no permite la renovación adecuada del bosque. También cuando se hace una corta ilegal y clandestina en zonas protegidas o reservas naturales, o cuando se corta toda la vegetación de manera indiscriminada. La participación de grupos delincuenciales o de caciques regionales en la tala inmoderada no es rara en varias entidades federativas.

SOBREPASTOREO

El aprovechamiento de áreas con pastizales naturales para la ganadería en un sistema de explotación extensivo es de gran importancia económica para nuestro país. El ganado se deja pastar en superficies suficientes para permitir su alimentación adecuada, pero también la regeneración del forraje. Lo anterior obliga a utilizar indicadores técnicos que nos garanticen etas dos condiciones. Uno de estos indicadores técnicos es el **Coeficiente de agostadero.**

COEFICIENTE DE AGOSTADERO.

Es la superficie necesaria para sostener a una Unidad Animal (UA) al año, en forma permanente y sin deteriorar los recursos naturales. Se expresa en hectáreas por Unidad Animal al año (**has/UA /año**) se determina por sitio de productividad forrajera. **Una Unidad Animal (UA) es una vaca con cría o gestante de 450 Kg de peso, o su equivalente en otras especies de ganado, la cual consume al día aproximadamente el 3% de su peso de materia seca (MS).**

Los coeficientes de agostadero son determinados por especialistas por la **Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA)**, para cada región de acuerdo con sus recursos forrajeros. En el Estado de Tabasco, el coeficiente de agostadero va de 0.8 a 16.4 has/UA/año, mientras que en Baja California Sur, este indicador va de 28.0 a 80.0 has/UA/año. Esto último se interpreta como que **en el peor de los casos se requieren 80 hectáreas para alimentar una vaca de 450 Kg de peso en un año.** Sí aumentamos la **carga animal** a esa superficie, pondremos en riesgo la regeneración del recurso forrajero.

Como seria lógico pensar, si no respetamos los indicadores técnicos se incurre en el **sobrepastoreo**, que significa que sobreexplotamos los pastizales con una sobrecarga de cabezas de ganado asignadas a esa superficie; sometiendo al suelo a una presión que lo expone a la erosión. Pero al mismo tiempo, el ganado no tendrá satisfechos sus requerimientos de alimento.

CAMBIO DE USO DEL SUELO.

Zonas forestales que se talan para convertirlos a potreros (donde pasta el ganado), o superficies de pastoreo que se convierten a la actividad agrícola, son ejemplos de **cambios de uso del suelo.** Si esos cambios se realizan sin consideraciones de tipo técnico, el resultado son suelos marcadamente erosionados en un plazo no muy largo. Lo recomendable en estos casos es realizar estudios para acondicionar el suelo y no provocar daños.

MANEJO AGRONÓMICO INADECUADO DEL SUELO.

La manipulación del suelo requiere del conocimiento de sus características y sus propiedades. El uso intesivo de maquinaria para la labranza; la remoción exagerada o el laboreo en un momento no apropiado son los errores más frecuentes que provocan una exposición innecesaria del suelo a los agentes de la erosión.

La quema de los residuos de cosecha, en lugar de incorporarlos al suelo, es una de las prácticas agrícolas que provoca una disminución de la materia orgánica y cosecuentemente la pérdida de la estabilidad de la estructura del suelo. El aumento de la temperatura a nivel de los primeros centímetros del suelo reduce la actividad microbiana y con ello también se reduce la posibilidad de la producción de aglutinantes orgánicos de origen microbiano.

Los suelos cuando se laborean, están muy secos y corre el viento; las partículas más finas se remueven y se desplazan en suspensión en la atmósfera, pudiendo alcanzar distancias considerables. Se recomienda poner atención a la humedad del suelo, la epoca de preparación del terreno, el tamaño de los implementos agrícolas y la potencia de la maquinaria a utilizar. Una buena planeación de estos aspectos no ahorrarán problemas de erosión.

CAUSAS INDIRECTAS DE LA EROSIÓN.

LA SOBREPOBLACIÓN.

El crecimiento poblacional se acelera cada vez más. En México, a pesar de que la tasa de natalidad cayó de 3.1% en el año de 1960 a 1.1% en 2018; la población creció, en ese mismo periodo, de 37.8 millones a 126.2 millones de habitantes. Se prevée que para el año 2050 la población mexicana será de aproximadamente 250 millones de habitantes. En contraste, la superficie agrícola será la misma (20 a 21 millones de hectáreas); aunque con una tasa de deterioro mayor, la productividad, con la tecnología actual, sera menor. La urgencia de una mayor producción de alimentos, ante este acelerado crecimiento poblacional, ejerce una presión exacerbada sobre los suelos y el agua, conduciendo a su erosión.

LA TENENCIA DE LA TIERRA EN MÉXICO.

La forma de posesión de la tierra en nuestro país tiene bases históricas y determina el nivel de vida de millones de campesinos. Existen tres formas de tenencia de la tierra: **pequeña propiedad, bienes comunales y ejido.** Estas formas de tenencia se encuadran en dos tipos, **la propiedad privada y la propiedad social.**

La pequeña propiedad es una propiedad privada con posibilidades de renta, enajenación y heredabilidad para los titulares y tiene su origen en el despojo de tierras a los nativos mexicanos por parte de los colonizadores españoles, y que se legitima con las leyes de Reforma y finalmente con el artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. La reforma a este artículo de 1992, le da atribuciones a la pequeña propiedad para una concentración y posibilidades de inversiones extranjeras. En realidad se trata de **latifundios disfrazados** con fuentes de agua y acceso al crédito y al seguro agrícola.

Por su parte, en la **propiedad social**, los poseedores de las parcelas son dueños solo del **usufructo**, o de las cosechas; pero no de la tierra. El Estado juega un rol tutelar y controla a miles de campesinos con pequeñisimas parcelas, que en cada generación se fragmentan más y más. Son tierras de temporal y de bajo potencial productivo, o bosques cuyos recursos forestales no pueden ser aprovechados libremente por sus poseedores, si no que deben seguir reglas de gobiernos burocráticos y corruptos. Sin acceso al crédito y al seguro agrícola, puesto que no tienen, a nivel individual, una figura jurídica, ni son sujetos a financiación, y sin capacidad de dejar en garantía las propias tierras; los ejidatarios y comuneros están destinados a la miseria y marginación. En estas circunstancias, el suelo no puede ser manejado técnicamente y es expuesto a la erosión.

LOS PRECIOS DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS BÁSICOS.

En México ha existido desde hace muchos años una transferencia de recursos económicos del campo a las zonas industriales. El sector primario de la economía, y en particular el sector agrícola, ha financiado al sector manufacturero y de servicios a través de alimentos básicos con precios regulados. Así, las tortillas, por ejemplo, son más baratas en la zona metropolitana de la ciudad de México que en el medio rural. Lo anterior se explica por las políticas de salarios a los obreros de las fábricas, **se les paga poco y se les subsidia a los patrones alimentos con precios bajos,** con el fin de garantizar utilidades en un sector industrial nacional anacrónico, destartalado y obsoleto tecnológicamente. Las inversiones extranjeras en el sector manufacturero también se benefician de estas políticas. Nuevamente, el productor ejerce una presión sobre el recurso suelo para obtener una mayor cantidad de productos agrícolas.

PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA.

Las acciones y prácticas para prevenir o combatir a la erosión se pueden agrupar en : PRÁCTICAS VEGETATIVAS, PRÁCTICAS MECÁNICAS y PRÁCTICAS CULTURALES.

PRÁCTICAS VEGETATIVAS

Son aquellas enfocadas a proteger al suelo con la siembra o plantación de cualquier tipo de vegetación con el propósito de aumentar su resistencia frente a este proceso degradativo. Dentro de estas prácticas podemos mencionar:

- **Reforestación o revegetación.** La plantación de árboles, arbustos y plantas de bajo porte que protejan al suelo contra la erosión. Se intenta reponer la vegetación que ha sido eliminada, ya sea con especies nativas o introducidas.

- **Cortinas rompevientos.** Frecuentemente utilizadas contra la errosión eólica y consiste en establecer hileras de árboles y arbustos de diferente porte a fin de hacer disminuir la velocidad del viento y evitar la pérdida de suelo.

- **Bordos vivos con especies nativas.** Se trata de bordos levantados para evitar el desplazamiento por escorrentía de los materiales edáficos y en sus taludes se plantas espcies de plantas nativas de nuestro país. Los magueyes y los nopales son excelentes opciones para los bordos vivos ya que se adaptan bien a climas secos y no requieren de mayor mantenimiento.

- **Repastización de agostaderos.** En lugar de depender de los pastos nativos de los agostaderos, se hace la siembra de pastos mejorados con mejores rendimientos de

forraje, mayor capacidad de recuperación y más altos niveles de nutrientes para el ganado. De acuerdo a las condiciones climáticas y del suelo, se opta por variedades mejoradas o especies de luguminosas forrajeras.

- **Cultivos de cobertera.** En terrenos susceptibles a sufrir erosión se establecen cultivos que cubran la mayor parte de la superficie del suelo, en lugar de sembrar cultivos en matas. La siembra de cereales **al voleo**, o con sembradoras mecánicas de grano pequeño es muy frecuente y recomendable. Especies como, trigo, avena, alfalfa, etc.

PRÁCTICAS MECÁNICAS.

Son construcciones u obras civiles que tienden a reducir la velocidad, reconducir o almacenar el agua de lluvia y de esta manera evitar que erosionen el suelo. Las prácticas mecánicas más frecuentes son:

Presas de tierra. Son almacenamientos de agua de lluvia que tienen los elementos de una represa, es decir, **vaso de almacenamiento, cortina y vertedor de demasías.** El material del que están construídas es de tierra y no tienen mucha capacidad de almacenamiento, aunque sirven principalmente para no permitir que el agua de lluvia tome velocidades que puedan causar daños aguas abajo. El agua almacenada se

utiliza para el consumo del ganado y pequeños aprovechamientos.

- **Presa filtrante de gavión.** Este tipo de represa se construye en el cause de las cárcavas y tiene por finalidad reducir la velocidad del agua de lluvia y no la de retenerla. Dentro de una jaula de malla de alambre se colocan piedras y rocas para formar grandes bloques de este material filtrante. Con estos bloques se construye una cortina y el vertedor de la represa.

- **Ollas de agua o Jagüeyes.** A diferencia de una presa de tierra, las ollas de agua son construcciones sin cortina y sin desague. Se puede colocar una geomembrana al fondo

de la olla para evitar la filtración del agua. Son de pequeño tamaño y su capacidad de almacenamiento es reducida.

- **Cajas de captación o trampas de agua.** El los terrenos con pendiente se excavan trampas de agua para evitar que el agua de lluvia escurra y favorecer que se filtre en el sitio. Es una buena práctica para evitar la erosión, pero también para aprovechar el agua de luvia y eventualmente plantar árboles frutales.

- **Zanjas de captación o de infiltración.** Son zanjas que se construyen siguiendo las curvas a nivel del terreno y se construyen para reducir la velocidad y permitir la infiltración del agua de lluvia.

- **Terrazas.** Las terrazas son obras civiles que implican la remoción de grandes volúmenes de suelo y cambiar la pendiente del terreno. Existen dos tipos de terrazas: **Terrazas de**

banco y terrazas individuales. Este tipo de obras permiten el manejo del agua y el establecimiento de cultivos en terrenos con mucha pendiente.

PRÁCTICAS CULTURALES O AGRONÓMICAS.

Son todas aquellas acciones relacionadas con el manejo agronómico del suelo y de los cultivos. Tienen un importante impacto a nivel de la parcela y no requieren de grandes inversiones.

- **Rotación de cultivos.** Consiste en cambiar de cultivos en cada ciclo. Se ha visto que los suelos se erosionan más si todos los años establecemos el mismo cultivo (**monocultivo)**, de tal manera que al alternar difrerentes especies; el suelo puede mantenerse en mejores condiciones. Una **rotación de cultivos simple** es el establecimiento de una **especie leguminosa**, y al siguiente ciclo una **especie graminea.** Aunque también podemos implementar un programa de rotación de cultivos más compleja al alternar varias especies luguminosas y gramineas en ciclos de varios años.

- **Surcado en dirección perpendicular a la pendiente.** En terrenos con una considerable pendiente o inclinación, la dirección de los surcos es muy importante; se recomienda direccionarlos perpendicularmente al sentido de la pendiente.

- **Cultivo en fajas.** En terrenos con una pendiente de entre 5 a 10%, se recomienda la construcción de bordos a una distancia entre 10 a 20 metros siguiendo las curvas a nivel y surcar abarcando las franjas entre bordo y bordo, en lugar de trabajar toda la superficie.

- **Abonos verdes.** Al mejorar la estructura del suelo al incrementar la estabilidad de los agregados, reducimos los riesgos de erosión. Lo anterior lo podemos lograr incorporando materia orgánica verde de baja relación C:N, como son los cultivos de leguminosas. Esta práctica consiste en establecer un cultivo de leguminosas y antes de la floración se incorpora al suelo este material verde.

- **Optima densidad de población y adecuada distribución de las plantas del cultivo.** Programar el número óptimo de plantas de un cultivo por unidad de superficie (**densidad de población, plantas/ha)** es necesario a fin de que el suelo pueda suministrar los requerimientos de nutrientes de manera holgada. La distribución de estas plantas debe ser homogénea sin dejar claros, por un lado, o amontonamientos por el otro.

- **Acolchados.** La práctica del "mulching" o acolchado consiste en colocar sobre la superficie del suelo un material protector que puede ser de origen orgánico o sintético. Otros beneficios del acochado son, la conservación de la humedad y el control de malezas (acolchado con plástico).

- **Utilización de semilla certificada.** Para garantizar un alto porcentaje de germinación y emergencia de semillas y plántulas, y no dejar claros donde no haya plantas en el terreno, es necesario utilizar semilla de calidad certificada. La semilla destinada a la siembra debe tener un alto grado de pureza y alto porcentaje de germinación.

- **Incorporación al suelo de materia orgánica (incluyendo estiércoles).** Ya hemos visto los beneficios de la incorporación de materia orgánica al suelo. La utilización de estiércol favorece la estructuración y fertilidad del suelo.

- **Utilización de métodos de labranza no convencionales.** La labranza mínima o reducida, la labranza de conservación o la cero labranza, son técnicas que permiten manejar técnicamente el suelo y evitar su erosión.

- **Optima fertilización.** Un programa de fertilización para las características del suelo y las necesidades del cultivo favorece la conservación de este recurso. Extraer los nutrientes en cantidades mayores de las que el suelo puede regenerar es la principal causa de deterioro y agotamiento de los suelos.

- **Riego localizado a baja presión.** El riego por gravedad o riego rodado, en ciertas condiciones, puede provocar pérdidas importantes de material edáfico. La utilización del riego por goteo a baja presión es una excelente medida para cuidar el suelo y hacer más eficiente el uso del agua.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No.7.MÓDULO III. LABRANZA DEL SUELO.

La labranza o laboreo es cualquier operación que remueve, invierte o manipula el suelo y que tiende a alterar su densidad, estructura y resistencia. Todas las labores de labranza tienen como objetivo principal proporcionar las condiciones físicas optimas del suelo para que las semillas germinen adecuadamente y las plantas alcancen su máximo potencial de desarrollo y rendimiento.

IMPORTANCIA DE LA LABRANZA DEL SUELO.

La labranza tiene una importancia fundamental en los sistemas de producción agrícola debido a que:

- Es parte integral del proceso de producción agrícola.
- Su finalidad es la creación de condiciones optimas para el establecimiento y crecimiento de las plantas del cultivo.
- Tiene un impacto directo en el acondicionamiento del suelo y en la eliminación de malezas.

Las diferentes operaciones de labranza que se realizan en nuestro país se agrupan en: Sistemas de labranza tradicionales, Sistemas de labranza convencionales y Sistemas de labranza no convencionales.

SISTEMAS DE LABRANZA TRADICIONALES DE MÉXICO.

Los sistemas de producción agrícola prehispánicos de México eran muy variados y por lo general se basaban en los recursos e insumos internos del agroecosistema. El conjunto de técnicas inventadas y desarrolladas por los nativos mexicanos se sustentaban en la conservación de la vegetación, del suelo y del agua. De esta manera, los sistemas de labranza se integraban perfectamente en los procesos de producción constituyendo verdaderas proezas tecnológicas agrícolas.

LAS CHINAMPAS.

Las chinampas son parcelas flotantes dentro de canales y lagos de agua dulce del Centro de México. Como una derivación de la tecnología de asentamiento humano sobre el agua, los antiguos mexicanos no solo construyeron una enorme metrópoli sobre las aguas de un conjunto de lagos, sino que también desarrollaron una agricultura de tipo lacustre muy variada y productiva que suministraba alimentos a una densa población en conjunción con los recursos acuáticos y la aportación de otras regiones del imperio. Una verdadera maravilla que garantizó la supervivencia de un gran núcleo social. De la misma manera que fueron recuperando materiales sólidos para la construcción de la ciudad, también de forma gradual se recuperaron materiales de limo y materia orgánica del fondo del lago para formar bancales y laborearlos cuidadosamente a fin de sembrarlos y cosechar cultivos de maíz, fríjol, calabaza, amaranto, huauzontle, jitomate, chile, chía y dalia.

ROZA-TUMBA-QUEMA.

La Roza-Tumba-Quema (RTQ) es un sistema de producción agrícola adaptado a las condiciones tropicales. Se desarrolló para cultivar las espesas selvas que en su momento representaban un reto de grandes dimensiones. Cuando Cristóbal Colón realizó sus primeros viajes al Nuevo Mundo, se encontró en las Islas del Caribe con territorios selváticos con habitantes naturales en condiciones de cazadores-recolectores. Mientras que, en territorio mexicano en esa misma época, ya había un imperio muy civilizado con una tecnología agrícola prodigiosa, ciudades imponentes y una sociedad muy organizada con arquitectos, astrónomos, matemáticos, artistas y tecnólogos.

SISTEMAS DE LABRANZA CONVENCIONALES.

La mecanización del campo mexicano data de las primeras décadas del siglo XX, se aceleró y se expandió durante la "Revolución verde". La creación de los Distritos de riego en el Noroeste de México, con sus grandes valles y sus cultivos extensivos, motivó a las demás regiones agrícolas a la utilización de maquinaria. La corriente agronómica del uso de las llamadas variedades mejoradas "milagro", muy rendidoras en condiciones de riego; pero acompañadas de una inusual, y cada vez más creciente, incorporación de insumos como fertilizantes de síntesis y agroquímicos variados; no hizo más que fomentar, en no pocos casos, el uso indiscriminado de implementos agrícolas que expusieron al suelo a procesos de degradación como la contaminación y erosión. Los sistemas de labranza convencional tienen su origen en este proceso de modernización de la agricultura mexicana.

Estos sistemas de labranza disturban el suelo, generalmente por inversión, mediante implementos como los arados en los primeros 25 a 30 cm, seguido de operaciones secundarias para preparar una adecuada "cama de siembra". El resultado de esta labranza es una superficie del suelo finamente dividida, con volumen y uniforme.

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA CONVENCIONALES.

Ciertamente hay aspectos positivos de estos sistemas de labranza, generalmente, cuando se realizan de manera técnica y bien efectuada:

- Cuando se alcanza su objetivo principal se obtiene una capa de suelo (25-30 cm), suelta y uniforme en su estructura que favorece el buen desempeño de semillas, plántulas y plantas.
- Se combaten las malezas y algunas plagas del suelo con un alto grado de eficiencia.
- Se mezclan con el suelo restos de cosecha y abonos, uniformizando la capa arable.

DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA CONVENCIONALES.

No obstante, las ventajas enunciadas, estos sistemas presentan algunos inconvenientes:

- El uso intensivo de maquinaria causa un progresivo deterioro del recurso suelo al impactar en la estabilidad de su estructura.
- Compactación del suelo y formación de "pisos de arado".
- Provocan la disminución de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

- Aumenta el banco de semillas de malezas y favorece su aparición en cada ciclo de cultivo cada vez más intensa.
- Destruyen la vida del suelo al alterar el contenido de humedad y el flujo de aire dentro del suelo.
- Incrementan los costos de cultivo.

SISTEMAS DE LABRANZA NO CONVENCIONALES.

Estos sistemas de labranza se originan con la intención de evitar todos los inconvenientes de la labranza convencional. El enfoque incluye una serie de consideraciones técnicas como, **realizar operaciones de laboreo con un detallado conocimiento de las características del suelo; que los suelos diferentes requieren de un manejo diferenciado y el mantenimiento en optimas condiciones y la conservación del suelo.**

LABRANZA MÍNIMA O REDUCIDA.

Este sistema se caracteriza por la manipulación mínima necesaria del suelo y que se reducen los pasos de maquinaria sobre el terreno. Las operaciones de labranza primaria (de los sistemas convencionales) se modifican y se realizan procedimientos especiales de siembra de tal manera que se reduzcan o eliminen las operaciones de la labranza secundaria.

Se toman en cuenta las características del suelo. Los suelos arenosos o de textura franca solo requieren para su preparación de un paso de rastra antes de la siembra, ya que casi no presentan riesgos de compactación. Por otro lado, si se utiliza un implemento que al mismo tiempo realice la preparación del suelo y la siembra; el ahorro en tiempo, esfuerzo y dinero es importante.

VENTAJAS DE LA LABRANZA MÍNIMA.

La reducción del número de operaciones de preparación del terreno nos ahorra combustible, disminuye el trabajo, permite la siembra temprana, puede disminuir la inversión en equipo y reduce la compactación del suelo.

DESVENTAJAS DE LA LABRANZA MÍNIMA.

Aunque este sistema de labranza nos brinda una serie de ventajas, también podrían persistir algunas desventajas como:

- La erosión se reduce, pero aún persiste y de todas maneras se forman pisos de arado.
- Puede ocasionar encostramientos.
- Favorece el aumento de la escorrentía y disminuye la infiltración del agua en el suelo.
- Es necesario un equipo especial.

LABRANZA DE CONSERVACIÓN.

Es un sistema de labranza en el cual los residuos de cosecha, o materia orgánica, son retenidos en la superficie del suelo con el objeto de protegerlo de la erosión y lograr buenas relaciones del suelo y el agua. Para fines de operación se especifica la cantidad de cubierta de residuos en la superficie, definiéndose en un 30%, ya que con esa cifra se logra aproximadamente una reducción del 50% de los riesgos de erosión en relación con un suelo sin una protección de materia orgánica.

La principal ventaja de este sistema es la reducción de la erosión.

CERO LABRANZA

Consiste en eliminar prácticamente todas las operaciones o labores de preparación del terreno. La siembra se hace en un terreno en el que solo se remueve una cantidad muy pequeña de suelo, suficiente para depositar las semillas. Este tipo de siembra se puede efectuar manualmente o con sembradoras especiales. Las maquinas sembradoras usadas en cero labranza rompen los residuos de la cosecha anterior y labran una línea o franja angosta de suelo por medio de cuchillas circulares ajustables en forma de discos roturadores y tienen ruedas apisonadoras para apretar una cantidad limitada de suelo sobre las semillas. No se realizan labores de cultivo.

VENTAJAS DE LA CERO LABRANZA.

A continuación, mencionaremos algunas ventajas importantes de este sistema:

- Menores costos de producción.
- Menor compactación del suelo por efecto del paso de la maquinaria.
- Posibilidad de utilizarse en terrenos con pendiente.
- La siembra se puede hacer inmediatamente después de la cosecha.

DESVENTAJAS DE LA LABRANZA CERO.

Es recomendable poner atención a algunos inconvenientes de este sistema:

- Se requiere de implementos especiales y caros.
- Mayor incidencia de malezas.
- Utilización de herbicidas ya que no se realizan escardas mecánicas.

SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA.

Una combinación de los principios técnicos de la labranza de conservación y la cero labranza, resulta en un sistema práctico y eficiente denominado, **siembra directa**. Toma de la labranza de conservación la práctica de cubrir al suelo con materia orgánica o residuos de cosecha, pero ahora en toda la superficie del terreno; y de la cero labranza el procedimiento de solo marcar una fina línea de siembra.

Los beneficios adicionales de este sistema son:

- Se garantiza un mínimo movimiento del suelo.
- Aumenta la infiltración del agua en el suelo.
- Se reduce la aparición de malezas.
- Se mantiene una temperatura estable del suelo.
- Se conservan los rastrojos sobre su superficie.
- Se reducen sustancialmente los riesgos de erosión.

Comentarios:

PROBLEMARIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Elías Jaime Matadamas Ortiz

I. DENSIDAD DEL SUELO.

Una de las características importantes del suelo es su **densidad**. En términos elementales decimos que la densidad de un cuerpo es la relación que existe entre la masa o peso del cuerpo y su volumen:

$$d = p/v$$

Donde: *d= densidad*
p= peso del cuerpo
v= volumen que ocupa en el espacio

Así, el suelo considerado como un cuerpo organizado tiene una densidad que depende de una relación del peso, tamaño y del arreglo de sus partículas sólidas de origen mineral y orgánico, y de los espacios vacíos inter-partículas e intra- agregados. Esta densidad particular del suelo es llamada **Densidad aparente (Dap)**:

$$Dap = Pss/Vt$$

Donde: *Dap= Densidad aparente (g/cm^3)*
Pss= Peso del suelo seco (gramos)
Vt= Volumen total (cm^3)

El peso del suelo seco (*Pss*) resulta de un tratamiento convencional de poner la muestra de suelo dentro de una estufa a una temperatura de 105ºC por un tiempo de 24 horas.

A su vez, el volumen total del suelo (Vt) es la suma del volumen que ocupan las partículas sólidas del suelo (Vp) y el volumen del espacio poroso o espacio vacío (Vep). Por lo cual tenemos:

$$Vt = Vp + Vep$$

$$Vp = Vt - Vep$$

$$Vep = Vt - Vp$$

Otro valor de densidad del suelo es la **Densidad real (Dr)**, la cual se define como la relación que existe entre el peso del suelo seco (Pss) y el volumen de las partículas (Vp):

Dr= Pss/Vp

Para un suelo agrícola el valor de la densidad real es de aproximadamente **2.65 g/cm^3**.

Ejemplo 1. Calcular la densidad aparente de una muestra de suelo en la que se determinó un peso seco de 175 gramos y un volumen total de 140 cm^3.

Solución: Dap= Pss/Vt Dap= 175/140= 1.25 g/cm^3

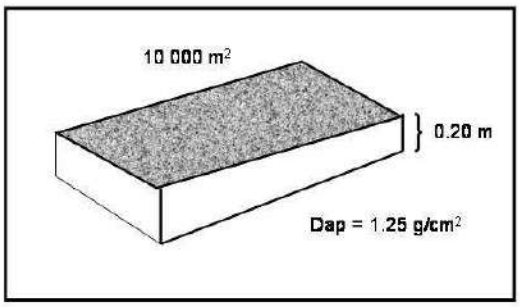
Ejemplo 2. Calcular la densidad real de la muestra del ejemplo anterior cuyo peso es de 175 gramos y un volumen de sus partículas sólidas (Vp) de 66 cm^3.

Solución: Dr=Pss/Vp Dr= 175/66 = 2.65 g/cm^3

II. EL PESO DE UN SUELO AGRÍCOLA.

Con el valor de la densidad aparente de un suelo agrícola (Dap) podemos calcular el peso de una determinada superficie de terreno (m^2) a una cierta profundidad (m):

Ejemplo 3. Calcular el peso de un terreno de una superficie de 10 000 m^2 (1 ha) a una profundidad de 20 cm (0.20 m) y que tiene un valor de densidad aparente (Dap) de 1.25 g/cm^2.



Solución: En principio tenemos que calcular el volumen de suelo que deseamos calcular

su peso:

Volumen de suelo= [superficie (m^2)] [profundidad (m)]

Volumen de suelo = (10 000 m^2) (0.20 m) = 2 000 m^3

Ahora ya sabemos que nuestro terreno de 10 000 m^2 a una profundidad de 20 cm tiene un volumen total (Vt) de 2 000 m^3. Utilizando el valor de la densidad aparente podemos a partir de la siguiente formula determinar el valor del peso del suelo:

Peso del suelo (ton) = (Densidad aparente) (Volumen del suelo)

Peso del suelo (ton) = (1.25) (2 000) = 2 500 ton = 2' 500 000 Kg

El suelo puede tener diferentes valores de densidad aparente de acuerdo a su profundidad. Debido al laboreo, los valores de densidad aparente frecuentemente son menores que en los horizontes subyacentes de la capa arable. El siguiente ejemplo nos plantea una situación típica.

Ejemplo 4. Calcular el peso de un suelo de 1.5 has de superficie a una profundidad de 50 cm. La densidad aparente de los primeros 30 cm es de 1.36 g/cm^3 y de 1.42 g/cm^3 la profundidad restante.

Solución: Se realizan los calculos primero a una profundidad con un valor de densidad aparente, luego se calcula la otra profundidad con el otro valor de densidad aparente y finalmente se suman los pesos.

1) Profundidad de 0 a 30 cm …… Vt = (15 000 m^2) (0.30 m) = 4 500 m^3

2) Profundidad de 30 a 50 cm ……. Vt = (15 000 m^2) (0.20 m) = 3 000 m^3

3) Peso a los 30 cm ……. Peso del suelo = (1.36) (4 500) = 6 120 ton

4) Peso de los 30 a los 50 cm ……. Peso del suelo = (1.42) (3 000) = 4 260 ton

5) Peso total del terreno …… 6 120 + 4 260 = 10 380 ton = 10' 380 000 Kg.

III. POROSIDAD DEL SUELO.

La porosidad del suelo se refiere al volumen de espacio vacío que se forma entre las partículas y entre los agregados del suelo. El espacio poroso del suelo consiste en macro y microporos por donde circula el aire y se mueve el agua. Estos dos compuestos

son esenciales para la vida de los microorganismos del suelo y para el desarrollo de las raíces de las plantas.

Como ya vimos, existe un cierto volumen vacío en la matriz del suelo cuyo valor se simboliza como **Vep**, o volumen de espacio poroso. Considerando este valor y relacionándolo con el volumen total del suelo (Vt), podemos determinar la **porosidad** de un suelo, la cual se define como **el porcentaje de espacio poroso con respecto al volumen total**, y cuya fórmula es:

$$\% \text{ porosidad} = [(Vep)/(Vt)] \times 100$$

Donde : Vep, volumen de espacio poroso (cm^3)
Vt, volumen total (cm^3)

Ejemplo 5. Calcular el porcentaje de porosidad de un suelo cuyos valores de volumen de espacio poroso y de volumen total son de 80 cm^3 y 174 cm^3, respectivamente.

Solución: % porosidad = [80 / 174] x 100 = 45.97 %.

Derivado de una serie de razonamientos matemáticos, que no abordaremos aquí, podemos calcular el porcentaje de porosidad de un suelo a partir de los valores de densidad aparente (Dap) y de la densidad real (Dr) de un suelo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de porosidad} = [1 - (Dap/Dr)] \times 100$$

Ejemplo 6. Calcular el porcentaje de porosidad de un suelo que tiene una densidad aparente de 1.25 g/cm^3 y una densidad real de 2.65 g/cm^3.

Solución: % porosidad = [1 – (1.25/2.65)] x 100 = 52.83 %.

Con un porcentaje de porosidad de 52.83 % lo ideal es que la mitad de ese espacio esté ocupado por agua y la otra mitad esté ocupado por aire o atmósfera.

$$Dap = [1 - (\% \text{ porosidad}/100)] \times Dr$$

IV. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).

La capacidad de intercambio de cationes se define como **la cantidad de miliequivalentes (meq) de cationes intercambiables presentes en el complejo**

de adsorción por cada 100 g de suelo seco. Se define a **1 equivalente (1 eq)** al resultado de dividir el peso atómico del elemento ión entre su número de valencia:

1 equivalente = peso atómico / valencia

Ahora bien, **1 miliequivalente (1 meq)** es la milésima parte de un equivalente:

1 miliequivalente (meq) = 1 equivalente/ 1000

De esta manera cada catión tendrá una equivalencia con relación a otros cationes en el intercambio que se efectúa entre el complejo de adsorción y los cationes de la solución del suelo tomando como base de comparación a 1 mg de H^+.

Entre los cationes de importancia agrícola que se encuentran en el suelo tenemos: H^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ y Na^+. A continuación calcularemos los gramos de cationes equivalentes a 1 miliequivalente (**1 meq)**.

Nombre del catión	Simbolo	Peso atómico	Valencia	1 meq (gramos)
Hidrógeno	H^+	1	1	0.001
Calcio	Ca^{2+}	40	2	0.020
Magnesio	Mg^{2+}	24	2	0.012
Potasio	K^+	39	1	0.039
Sodio	Na^+	23	1	0.023

Por lo anterior, un miliequivalente de H^+ corresponde a 0.001 gramos del catión o a 1 mg en 100 g de suelo, que a su vez es equivalente a 0.020 g de Ca^{2+}, 0.012 g de Mg^{2+}, 0.039 g de K^+ y a 0.023 g de Na^+ en el fenómeno de intercambio de cationes.

Si tomamos los datos del ejemplo No. 3 relativos al peso del suelo en donde una 1 ha de suelo a una profundidad de 20 cm peso 2’ 500 000 Kg o 2 500 ton; 1 miliequivalente de cada uno de estos cationes corresponderá a una cantidad en kilos del catión por hectárea:

Catión	1 meq (gramos en 100 g suelo)	Peso de una hectárea (Kg)	Kilogramos del catión /ha
H^+	0.001	2.5×10^6	25
Ca^{2+}	0.020	2.5×10^6	500
Mg^{2+}	0.012	2.5×10^6	300
K^+	0.039	2.5×10^6	975
Na^+	0.023	2.5×10^6	575

Observando la tabla anterior, la primera cuestión que se nos viene a la mente es ¿Cómo salieron los datos de los kilogramos del catión por hectárea?. La respuesta es muy simple y resulta de hacer el siguiente razonamiento:

Sí 1 meq de H^+ es igual a 0.001 gramos del catión en 100 gramos (0.1 Kg) de suelo, entonces ¿ cuantos gramos (o kilogramos) del catión están contenidos en el peso total de la hectárea de suelo?.

1 meq de H^+ = 1.0 x 10^{-6} Kg _____ 0.1 Kg de suelo

X _____ 2' 500 000 Kg de suelo

Al resolver esta relación obtenemos el resultado y podemos establecer una fórmula para el cálculo:

$$\text{Kilogramos del catión por hectárea} = \frac{\left(\text{Peso equivalente de 1 meq del catión en Kg}\right)\left(\text{Peso de una hectárea de suelo en Kg}\right)}{\left(\text{0.1 Kilogramos de suelo}\right)}$$

Es importante recordar que el peso de una hectárea de suelo es variable ya que depende la densidad aparente y del grosor considerado, así que cada suelo tendrá valores diferentes de peso. Así también debemos tener en cuenta las unidades de medida que estamos utilizando:

Catión	Peso equivalente de 1 meq en miligramos (mg)	Peso equivalente de 1 meq en gramos (g)		Peso equivalente de 1 meq en Kilogramos	
		notación normal	notación científica	notación normal	notación científica
H^+	1	0.001	1.0 x 10^{-3}	0.000001	1.0 x 10^{-6}
Ca^{2+}	20	0.020	2.0 x 10^{-2}	0.000020	2.0 x 10^{-5}
Mg^{2+}	12	0.012	1.2 x 10^{-2}	0.000012	1.3 x 10^{-5}
K^+	39	0.039	3.9 x 10^{-2}	0.000039	3.9 x 10^{-5}
Na^+	23	0.023	2.3 x 10^{-2}	0.000023	2.3 x 10^{-5}

Con esta información podemos calcular la cantidad en kilogramos de los cationes en una hectárea con determinado peso y relacionarlo con su capacidad de intercambio catiónico.

Ejemplo 7. Un suelo agrícola tiene una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 35 meq /100 gramos de suelo. De los cuales 21 meq son de calcio; 6 meq son de magnesio; 2 meq son de sodio; 2 meq son de potasio y 1 meq es de hidrógeno. El peso

de esa hectárea es de 3 500 toneladas. Calcular la catidad de kilogramos de cada uno de los cationes.

Solución: En principio calculamos la cantidad en kilogramos de 1 meq de cada uno de los cationes en ese peso de suelo, aplicando la fórmula proporcionada antes:

1 meq de Ca^{2+} = [(0.000020) (3 500 000) / 0.1] = 700 Kg de Ca^{2+}
1 meq de Mg^{2+} = [(0.000012) (3 500 000) / 0.1] = 420 Kg de Mg^{2+}
1 meq de Na^{+} = [(0.000023) (3 500 000) / 0.1] = 805 Kg de Na^{+}
1 meq de K^{+} = [(0.000039) (3 500 000) / 0.1] = 1365 Kg de K^{+}
1 meq de H^{+} = [(0.000001) (3 500 000) /0.1] = 35 Kg de H^{+}

Ahora solo resta multiplicar la cantidad en kilogramos del catión por el número de miliequivalentes:

700 Kg de Ca^{2+} x 21 = 14 700 Kg de calcio
420 Kg de Mg^{2+} x 6 = 2 520 Kg de magnesio
805 Kg de Na^{+} x 2 = 1 610 Kg de sodio
1 365 Kg de K^{+} x 2 = 2 730 Kg de potasio
35 Kg de H^{+} x 1 = 35 Kg de hidrógeno

Otra situación de cálculo es la que se presenta cuando nos proporcionan los datos de la cantidad de kilogramos de los cationes y nosotros tenemos que determinar el número de cationes para un cierto peso de suelo.

Ejemplo 8. Una hectárea a una profundidad de 18 cm tiene un peso de 2 448 ton y encontramos 600 Kg de calcio; 45 Kg de hidrógeno; 560 Kg de magnesio y 984 Kg de potasio. Calcular el número de miliequivalentes de cada uno de los cationes y la capacidad de intercambio de cationes de ese suelo.

Solución: En primer lugar tenemos que calcular a cuantos kilogramos equivalen a 1 meq de cada catión para ese peso del terreno:

1 meq de Ca^{2+} = 489.6 Kg
1 meq de H^{+} = 24.5 Kg
1 meq de Mg^{2+} = 293.8 Kg
1 meq de K^{+} = 954.7 Kg

Luego dividimos la cantidad de Kilogramos del catión que nos proporcionan entre el peso equivalente de cada catión:

Número de meq/100 g de suelo de Ca^{2+} = 600/489.6 = 1.2 meq
Número de meq/100 g de suelo de H^{+} = 45/24.5 = 1.8 meq
Número de meq/100 g de suelo de Mg^{2+} = 560/293.8 = 1.9 meq

Número de meq/100 g de suelo de K^+ = 984/954.7 = 1.02 meq

Para calcular la capacidad de intercambio de cationes de ese suelo solo sumamos el número de meq/100 g de suelo de cada catión:

CIC= (1.2 + 1.8 + 1.9 + 1.02) = 5.92 meq/100 g de suelo.

V. PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI).

El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es la proporción de miliequivalentes de sodio que se encuentra en el complejo de adsorción con relación a la capacidad de intercambio catiónico de ese suelo y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{PSI = (meq\ de\ Na^+/CIC) \times 100}$$

Ejemplo 9. Calcular el PSI de un suelo cuyo valor de CIC es de 36 meq/100 g de suelo y con 5 meq de Na^+ intercambiable.

Solución: $PSI = (5/36) \times 100 = 13.88\ \%$

La presencia del catión sodio en el suelo tiene importancia práctica ya que con un valor superior del 15 % tenemos problemas de sodicidad y disgregación consecuente de los separados del suelo.

VI. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES (PSB).

A los cationes Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ y Na^+ se les denomina **cationes base** y al catión H^+ se le considera un **catión ácido**. La proporción de cationes base en relación a la CIC se le conoce como el porcentaje de saturación de bases y nos da una idea de la naturaleza de los cationes intercambiables del complejo de adsorción y de la fertilidad del suelo. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{PSB = (No.\ de\ meq\ de\ cationes\ base/CIC) \times 100}$$

Ejemplo 10. Calcular el valor de PSB de un suelo que tiene una CIC de 24 meq/100 g suelo de los cuales 2 meq son de hidrógeno y el resto son de calcio, magnesio, potasio y sodio.

Solución: Si la CIC es de 24 meq y le restamos 2 meq de hidrógeno, deducimos que el resto de meq son de cationes base:

Número de cationes base = (CIC- meq de hidrógeno) = 24 – 2 = 22 meq. Aplicamos la fórmula y tenemos:

$$PSB = (22/24) \times 100 = 91.7\ \%$$

Ese valor de PSB nos indica que existe poco hidrógeno y una mayoría de bases en el complejo de adsorción. En la clasificación de suelos la saturación de bases es importante, si es mayor del 50% se le denomina al suelo "eutrico" (fértil) y si es menor del 50% es "dístrico" (infértil).

VII. EL pH DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO.

El pH es una medida de la concentración de iones H^+ en la solución del suelo y se relaciona con la disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas de acuerdo asu valor. Un valor de pH cercano a 7.0 decimos que la solución del suelo es neutra, mientras que valores menores de 7.0 nos indican que la solución del suelo es ácida y mayores de 7.0 es alcalina o básica. El pH se calcula con la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{pH = \log (1/[H^+])}$$

Entonces el pH es el logaritmo del inverso de la concentración de iones H^+.

Ejemplo 11. Calcular el valor de pH de una solución de una muestra de suelo agrícola con una concentración de H^+ de 0.00025 g/litro.

Solución: $pH = \log (1/0.00025) = 3.60$

PROBLEMAS:

1. Una muestra de suelo se seco a la estufa a 105ºC por un tiempo de 24 horas y pesó 202.8 gramos y se determinó que esta muestra ocupaba en el suelo un volumen de 156 cm^3. Calcule el valor de la densidad aparente de esta muestra.

2. Al utilizar el método de terrón parafinado para la determinación de la densidad aparente de un suelo obtuvimos que el terrón sin parafinar tuvo un peso de 29.7 gramos; el terrón parafinado pesó 33.5 gramos y éste ocupo un volumen de 22.9 cm^3. Sabiendo que la parafina tiene una densidad de 0.7 g/cm^3 calcule el valor de la densidad aparente.

3. Calcule el peso de un terreno de 12 000 m^2 a una profundidad de 50 cm, sí ese suelo agrícola posee una densidad aparente de 1.65 g/cm^3.

4. Determine el peso de un terreno de ½ hectárea a una profundidad de 60 cm, donde los primeros 40 cm tienen una densidad aparente de 1.56 g/cm^3 y el resto de la profundidad tiene una densidad aparente de 1.48 g/cm^2.

5. Calcule el porcentaje de porosidad de un suelo que tiene un valor de densidad aparente de 1.89 g/cm^3 y una densidad real de 2.65 g/cm^3.

6. Realice el cálculo del porcentaje de porosidad de un terreno cuya superficie es de 15 246 m^2 a una profundidad de 45 cm. Del volumen total, 3 567.56 m^3 es ocupado por las partículas sólidas y el resto es de espacio ocupado por el agua y el aire.

7. Tenemos un terreno de 0.8 has y que a una profundidad de 30 cm tiene una densidad aparente de 1.46 g/cm^3 y se determinó que tiene 560 Kg de hidrógeno; 890 Kg de magnesio; 238 Kg de calcio; 742 Kg de sodio y 860 Kg de potasio. Determine su capacidad de intercambio catiónico (CIC).

8. Del ejercicio anterior tenemos que el suelo posee 15.98 meq de hidrógeno; 2.12 meq de magnesio; 0.34 meq de calcio; 0.92 meq de sodio y 0.58 meq de potasio. Determine el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

9. Tomando siempre los datos del ejercicio anterior calcule el porcentaje de bases intercambiables y diga si el suelo es eutríco o dístrico.

10. Determine el valor de pH de una solución del suelo cuya concentración de H^+ es de 0.0007 g/litro.

11. Cual será el pH de la solución de un suelo cuyo valor de pOH es de 10.0.

12. Si tenemos un suelo con una solución con un pOH de 4.0 ¿El suelo se considerará ácido o alcalino?

SOLUCIONES:

1. 1.3 g/cm^3.

2. 1.7 g/cm^3.

3. 9 900 ton o 9’ 900 000 Kg.

4. 4 600 ton o 4’ 600 000 Kg.

5. 28.68 %.

6. 48 %.

7. 19.94 meq/100 g de suelo.

8. 4.61 %.

9. 19.85 %. Dístrico.

10. 3.15.

11. pH= 4.0.

12. Es un suelo alcalino.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE PREPARATORIA AGRÍCOLA
ÁREA DE AGRONOMÍA

INTRODUCCIÓN A LA AGRONOMÍA

UNIDAD III

CONSERVACIÓN DEL SUELO Y DEL AGUA

ELABORÓ:

ELÍAS JAIME MATADAMAS ORTIZ

3.1. INTRODUCCIÓN.

Desde la misma formación de nuestro planeta, los procesos de formación y transformación de la corteza terrestre han sido muy activos. Gracias a ellos, la vida pudo desarrollarse con una constante interacción entre ésta, los elementos geológicos y atmosféricos. Este substrato pudo albergar una gran diversidad de especies de organismos, dentro de los que podemos incluir al hombre.

Como ya vimos anteriormente en la unidad cuarta, la génesis de los suelos involucra la intervención de factores como, las rocas (o material parental), el clima, el relieve, los organismos y el tiempo. Por procesos de intemperización física, química y bioquímica, se produce un cuerpo dinámico y tridimensional con características físicas, químicas, biológicas e hidrodinámicas al que comúnmente llamamos: **suelo**.

Desde un enfoque de sistemas, vemos que el suelo representa un subsistema del ecosistema y que este subsistema funciona interaccionando con los organismos (directamente con los vegetales) y la atmósfera en los **Agroecosistemas**, los cuales tienen como objetivo fundamental la producción de satisfactores para la sociedad.

Una de las propiedades del suelo es la de productividad de biomasa, la cual se explica como la capacidad de proporcionar las condiciones óptimas para sustentar el crecimiento de los vegetales, tanto silvestres como cultivados. Estas condiciones incluyen:

a) Actividad microbiana y evolución de la materia orgánica
b) Difusión de gases
c) Disposición de elementos nutritivos para las plantas
d) Drenaje
e) Retención de agua asequible para las plantas y organismos
f) Regulación de la temperatura
g) Soporte físico y al mismo tiempo substrato que permite el crecimiento de raíces, tallos subterráneos y órganos especializados
h) Regulación de la disponibilidad de elementos esenciales para las plantas
i) Regulación de la reacción química de la fase líquida
j) Medio reaccional que posibilita el flujo de energía y el ciclo de materia

La importancia del estudio del suelo y de su conservación radica en el hecho que éste representa el substrato universal para la **Agricultura**. Su aprovechamiento implica también su conservación y manejo. Debido a que en los agroecosistemas convencionales el objetivo es la obtención de la mayor cantidad de biomasa en menor tiempo posible y en menor cantidad de suelo; debemos tener un conocimiento pleno de los factores de degradación de este recurso y evitarlos al máximo a fin de mantener una producción sustentable, esto es; que las generaciones actuales satisfagan sus necesidades y que las futuras también lo hagan sin perder activos ni agotar recursos.

Las bases de la conservación del suelo parten de los conocimientos de los procesos de degradación y pérdida de las propiedades productivas del mismo.

En este apartado revisaremos estas bases y comentaremos algunos conceptos básicos necesarios, para que los estudiantes del curso de Introducción a la Agronomía, puedan entender y comprender la importancia del suelo y del agua en la agricultura.

3.2. OBJETIVOS.

1) Los estudiantes comprenderán la importancia de la conservación de los recursos, suelo y agua.
2) Los estudiantes comprenderán las causas y los efectos de la erosión del suelo.

3) Los estudiantes conocerán los principales métodos de conservación del suelo y del agua.

3.3. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS Y SUS REPERCUSIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES.

La degradación y pérdida de la capacidad productiva de los suelos agrícolas son eventos que repercuten en la economía de las regiones donde la agricultura es la actividad principal. Afectan directamente la producción de los cultivos básicos y a la actividad ganadera y silvícola, y por lo tanto, sus efectos en la economía son importantes. De hecho, la degradación de los suelo también afecta a sectores sociales no relacionados con las actividades primarias al incidir en la oferta de alimentos para el hombre y de materias primas para la agroindustria y los servicios. En suma, todos salimos afectados, campesinos o no, de la degradación de los recursos naturales.

Otros efectos no menos negativos son la pérdida de la capacidad de autoabasto y el aumento de las importaciones. En regiones del planeta donde no se ha sabido manejar los recursos naturales o éstos son limitados; es penoso ver los signos de desnutrición que llegan a alcanzar grados superlativos. La hambruna y la muerte que se observan en estos lugares son las consecuencias catastróficas de la degradación o agotamiento de los recursos.

En México, en zonas rurales con sistemas de producción de subsistencia, la degradación de los suelos limita el poder de sobrevivencia y agudiza la pobreza y fuerza a sus habitantes a la migración. La diversidad de especies vegetales y animales se restringe considerablemente y se anula las posibilidades de sustentabilidad.
De acuerdo con lo anterior, resulta imprescindible el adecuado manejo del recurso suelo, pero también, su conservación y en determinados casos su rehabilitación y recuperación.

Siempre resultará más económica la prevención de la degradación de los suelo, que su recuperación, de aquí que; los productores y los profesionales de la agronomía cuenten con conocimientos de prevención y al mismo tiempo fomenten una conciencia de conservación de este recurso y puedan tomar decisiones frente a las circunstancias que se les presenten.

3.3.1. CONCEPTO DE DESERTIFICACIÓN.

La desertificación es la degradación de los suelos de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas con limitada precipitación pluvial. Es causada principalmente por las actividades humanas y por las variaciones climáticas. La desertificación no se refiere a la expansión de los desiertos

existentes. Se presenta porque los ecosistemas de las regiones áridas, que cubren una tercera parte de la superficie de la tierra, es extremadamente vulnerable a la sobre explotación y al uso inapropiado del suelo. La pobreza, la inestabilidad política, la deforestación y algunas prácticas de riego incorrectas pueden minar la fertilidad de los suelos agrícolas. Más de 250 millones de personas en el mundo son directamente afectadas por la desertificación. Además, alrededor de mil millones de personas en más de cien países están en riesgo. Estas personas se encuentran en los países más pobres y son los más marginados con gobiernos políticamente débiles (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación).

La desertificación es la disminución o destrucción del potencial biológico del suelo que puede desembocar en definitiva en condiciones de tipo desértico. Constituye un aspecto del deterioro generalizado de los ecosistemas (particularmente, agroecosistemas) el cual reduce o limita el potencial productivo.

Un aspecto importante de la desertificación es que es originada e incrementada principalmente por las actividades humanas en el afán de transformar y explotar los ecosistemas. Por consiguiente, es el hombre el único y directo responsable de la desertificación y de sus consecuencias.

El término de desertificación no se liga exclusivamente a regiones con escasa precipitación pluvial, ya que pueden existir regiones desertificadas en todos los climas y abarcar todos los sistemas ecológicos del planeta, claro está; donde el hombre intervenga.

Debemos subrayar que la desertificación es un proceso de degradación de los ecosistemas (es evidente en el suelo, pero que no es exclusivo de éste) que se presenta cuando el hombre los maneja de manera inadecuada y rompe la estabilidad de los mismos al intentar obtener sus satisfactores básicos. Este proceso puede resultar de la modificación cuantitativa o cualitativa de todos los elementos de un sistema natural, o cuando tal modificación se da sobre un solo elemento, lo que provocará el cambio en todo el sistema, dada la íntima interacción entre estos elementos en los subsistemas.

El sistema intervenido tenderá a perder estabilidad y su producción primaria se verá disminuida de manera radical y finalmente se colapsará. El funcionamiento resultante será diferente al inicial; al modificarse el flujo de energía y el ciclo de materiales.

Por la lucha contra la desertificación se entiende una serie de medidas que tienen por objeto:

- La prevención o la reducción de la degradación de los suelo
- La rehabilitación de los suelos parcialmente degradados
- La recuperación de los suelos degradados

En su sentido amplio, la desertificación puede ser evidente por procesos de degradación de los suelos agrícolas que traen como consecuencias la reducción o pérdida de la capacidad de éstos para la producción en términos de cantidad o calidad de los productos necesarios para la sociedad. Cuando los suelos de una zona o región se deterioran o se degradan pierden la capacidad de sustentabilidad o su capacidad para mantener su productividad a largo plazo.

La desertificación es un grado mayor de la degradación de los suelos y en general de los agroecosistemas. Esta degradación de los suelos implica la reducción del potencial por una combinación de procesos relativos a la dinámica y funcionamiento del suelo. Estos procesos incluyen: la erosión (hídrica y eólica), la acumulación de materiales que no son compatibles con la composición del suelo (rocas y arenas), o materiales sintéticos no biodegradables (plásticos de uso común no reciclables), materiales contaminantes o radioactivos (en el suelo o subsuelo), alta compactación del suelo y pérdida de retención de humedad, reducción significativa de la actividad biológica inherente a los microorganismos, salinización o sodificación, sobreexplotación de materiales minerales o de construcción, el crecimiento no planificado de las zonas urbanas y el asentamiento de densos núcleos poblacionales en zonas agrícolas.

De acuerdo con lo anterior, la desertificación puede presentarse en diferentes ecosistemas y no sólo en las zonas áridas o semiáridas, como lo plantea la Comisión contra la Desertificación de las Naciones Unidas. En efecto, estas zonas son más vulnerables a este fenómeno, sin embargo, en nuestro país la desertificación a cobrado vigencia en zonas donde la precipitación es importante; nos referimos a las zonas tropicales del sureste, donde cada día las áreas erosionadas que alcanzan niveles de desertificación se cuentan por cientos de hectáreas. De aquí que nuestro país debe revisar los conceptos ratificados en los foros internacionales y establecer criterios de desertificación acordes a nuestras condiciones. Finalmente diremos que México representa un caso excepcional de diversidad biológica que puede estar en riesgo debido a que no se ha estudiado con mayor atención el problema de la degradación de los suelos agrícolas.

En estos apuntes solo se revisará con cierto detalle a la erosión como uno de los procesos que provocan la desertificación, aunque, como ya vimos no es el único, pero si uno de los más importantes.

3.3.2. CONCEPTO DE DESERTIZACIÓN.

La desertización es el acrecentamiento de los desiertos producido por causas naturales, principalmente por cambios climáticos a muy largo plazo. La aparición de los desiertos y su ampliación depende de cambios de los factores geológicos y atmosféricos a nivel planetario. Como ya lo mencionamos, sus causas son naturales y su desarrollo se lleva a efecto en un tiempo que comprende desde cientos a miles de años.

3.3.3. CONCEPTO DE EROSIÓN.

La erosión se define como el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado por el agua y el viento. Intervienen por lo tanto en este fenómeno, un objeto pasivo; que es el suelo, colocado en determinadas condiciones de pendiente; dos agentes activos: el agua y el viento, y un intermediario: la vegetación, la cual regula sus relaciones (SUAREZ DE CASTRO, 1982).

La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo (COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 1991).

De las definiciones anteriores podemos subrayar que la erosión es **un proceso degradativo** del suelo, que este proceso es acelerado y condicionado por las actividades del hombre, pero provocado principalmente por la acción del agua y el viento. Por lo tanto, la erosión puede conducir a la desertificación en las regiones agrícolas. Está claro que la erosión es el proceso más común, pero no el único que desemboca a la degradación de los agroecosistemas.

3.3.4. TIPOS DE EROSIÓN.

Siempre ha existido la erosión y es casi seguro que siempre existirá. La superficie de la corteza terrestre es moldeada por procesos exogenéticos y endogenéticos. Los primeros tienden a nivelar, mientras que los segundos tratan de formar un nuevo relieve. Estos procesos operan en direcciones opuestas y, por lo tanto, la superficie terrestre que observamos en la actualidad no es el resultado de un cambio puntual y preciso, sino más bien, el producto de cambios tan infinitamente lentos, que se hacen notables solamente después de un tiempo largo. La erosión es uno de esos aspectos de este proceso constante de cambios, donde el hombre participa en forma directa.

Podemos diferenciar dos tipos de erosión; **la erosión geológica o natural** y **la erosión acelerada o inducida**.

3.3.4.1. EROSIÓN GEOLÓGICA O NATURAL.

Es la erosión que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza. Este tipo de erosión actúa sin la intervención del hombre y, participa en la formación de los suelos. La velocidad e intensidad de la erosión geológica o natural depende exclusivamente de factores naturales y favorece la formación del suelo. La cantidad de suelo desplazado tiende a ser menor o igual a la cantidad formada por los procesos de intemperismo químico o físico.

3.3.4.2. EROSIÓN ACELERADA O INDUCIDA.

Es la erosión que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo y en términos generales es más rápida que la geológica.

Cuando se presenta la erosión acelerada o inducida, el equilibrio entre la formación y el arrastre del suelo se rompe; siendo mayor la cantidad de pérdida de material edáfico que la que se forma. Por un lado, la formación de suelo *in situ* se restringe, y por otro, la acumulación de los materiales intemperizados en las partes bajas aumenta.
Las regiones de arrastre resultan en zonas con acelerada desertificación.

Estos dos tipos de erosión son contrastantes. La diferenciación que de ellos se hace es con miras a controlar las causas de su ocurrencia. La dificultad para distinguirlos ha resultado a menudo en indiferencia a reconocer la gravedad de la erosión causada por el hombre.

A escala mundial las actividades humanas no agrícolas que aceleran el proceso de erosión son menos notorias. La minería, la construcción de edificios y caminos provocan una erosión que interfiere solamente con una pequeña parte de la superficie terrestre. Por otro lado, las actividades agrícolas que son de primordial importancia están muy generalizadas y casi todas

ellas tienden a aumentar el peligro de la erosión. Cuando la vegetación natural es destruida, se disminuye la capacidad para absorber la energía de las gotas de lluvia, hay más escurrimiento hacia las corrientes y, por lo tanto, habrá más erosión. Mediante el laboreo de los suelos, el hombre altera el equilibrio ecológico y provoca la erosión en forma más rápida y efectiva que bajo las condiciones naturales. De hecho, todos los procesos físicos de la naturaleza son acelerados y, por lo tanto, también se acelera la erosión.

3.3.5. LOS AGENTES DE LA EROSIÓN.

Los principales agentes de la erosión son: el agua de lluvia, el viento, los cambios de temperatura y los procesos biológicos, de los cuales los dos primeros son los que revisten mayor importancia.

3.3.5.1. EL AGUA DE LLUVIA.

Es el agente más importante de la erosión. La erosión hídrica (erosión causada por el agua) es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse y fluir sobre la superficie del suelo.

La remoción del suelo por el agua se produce por varios fenómenos, dentro de los cuales podemos mencionar: la suspensión de las partículas orgánicas y minerales más finas que componen el suelo y su transportación por las corrientes superficiales de agua, o escorrentía. Las gotas de lluvia al impactarse con las partículas superficiales del suelo, les transfieren su energía, y estas son desplazadas de su posición inicial. El desplazamiento por impacto aunado por el arrastre por suspensión dan lugar a la erosión hídrica que se manifiesta por diferentes formas de erosión, las cuales se abordarán posteriormente.

La cantidad de suelo removido depende de la cantidad, intensidad y distribución espacial de la lluvia. El agua de escorrentía es la que arrastra a su paso a las partículas de suelo en cantidad variable, según sea su volumen y velocidad, por una parte, y las resistencias que se oponen a su acción, por la otra.

La erosión por efecto del agua no es un problema en zonas planas. Tan sólo cuando la topografía de los terrenos es accidentada, las pérdidas de suelo comienzan a adquirir importancia. El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión depende de la velocidad con que ésta fluye, la cual, a su vez es una resultante de la longitud y grado de pendiente del terreno.

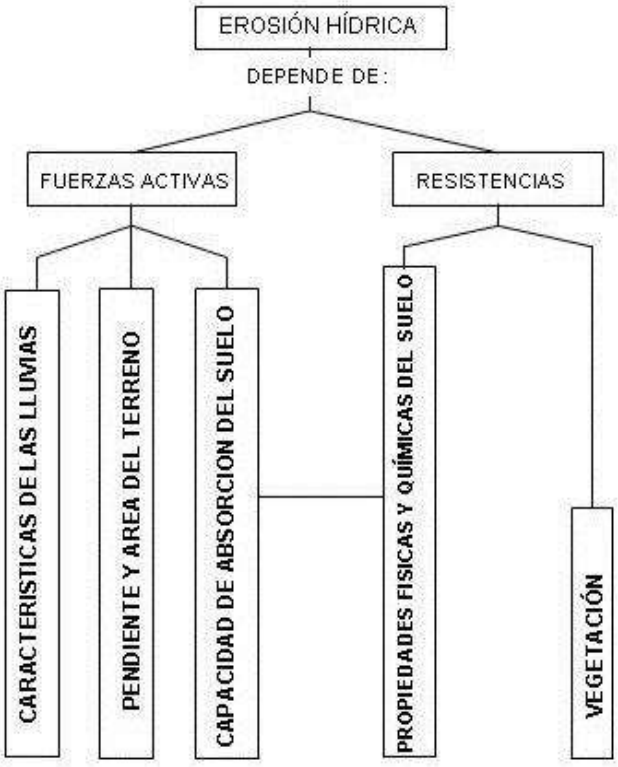


Figura 1. Factores que afectan la erosión causada por el agua.

3.3.5.2. EL VIENTO.

Es un agente físico que influye en la erosión y formación de los suelos al causar el desprendimiento, transporte, deposición y mezcla del suelo. El viento no erosiona por sí mismo las rocas, sino que es la abrasión provocada por las partículas del suelo que él transporta la causante de este desgaste.

El movimiento de lasa partículas del suelo en este tipo de erosión, es producido por la fuerza del viento ejercida contra la superficie del terreno. Una vez que este movimiento se ha iniciado, las partículas del suelo son transportadas por **saltación**, **deslizamiento superficial** y **suspensión**, dependiendo del tamaño de las partículas y la duración, velocidad y turbulencia del viento.
La mayoría de las partículas del suelo son removidas por saltación, la cual consiste en una serie de saltos sobre la superficie del terreno. Con frecuencia, las partículas de tamaños entre 0.1 y 0.5 mm son transportadas en esta forma. Los estudios de laboratorio han mostrado que más del 50% del suelo erosionado por el viento se mueve por saltación y el resto se mueve mediante una combinación de las otras dos formas: el deslizamiento superficial y la suspensión.

El deslizamiento superficial consiste en el rodamiento o deslizamiento de las partículas gruesas de suelo a lo largo de la superficie del terreno. Debido a que dichas partículas del suelo son muy pesadas para ser levantadas por el viento, su movimiento se debe al empuje de éste y al impacto de las partículas pequeñas, que son transportadas por saltación. Las partículas del suelo

que se mueven en esta forma tienen diámetros entre 0.5 y 1.0 mm. La cantidad de suelo removido por saltación y deslizamiento superficial es proporcional a la velocidad del viento al cubo (Zingg *et al.* 1965).

Las partículas menores de 0.1 mm pueden ser removidas por suspensión. El movimiento de estas partículas generalmente es iniciado por el impacto de las partículas movidas por saltación. Este tipo de movimiento, aunque es de menor importancia cuantitativa que el de saltación, es el más espectacular y fácilmente reconocido, y por otro lado el más perjudicial a nivel de la fertilidad del suelo; al perderse las partículas tanto orgánicas como minerales con mayor actividad físico-química.

3.3.5.3. LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA.

Cuando se considera la erosión geológica, el paso del tiempo apenas se nota, y aun cambios pequeños o muy lentos se vuelven perceptibles hasta después de un largo tiempo. Como ejemplo tenemos la cuarteadora y descostramiento o exfoliación de las rocas por variaciones entre la temperatura del día y de la noche; esta variación sólo afecta la superficie de las rocas, mientras que los cambios, debido a las variaciones lentas entre el verano y el invierno, tienen mayor impacto en la masa de las rocas.

5.3.5.4. LOS AGENTES BIOLÓGICOS.

El proceso erosivo también está influenciado por los organismos vivos en forma directa e indirecta. En forma directa por el pisoteo sobre las rocas o el suelo para disgregarlo y hacerlo más fácilmente transportable por el agua y el viento; en forma indirecta, al eliminar parcial o totalmente la vegetación que lo protege, con lo que aumenta la susceptibilidad del suelo a la erosión.

3.3.6. FORMAS DE EROSIÓN.

Las formas de la erosión están determinadas principalmente por los agentes activos que la provocan. La acción del agua de lluvia o del viento se encuentra con cierto grado de resistencia derivado de la presencia de vegetación y de las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Algunos factores que favorece la erosión son, precisamente; un suelo desprovisto de vegetación y en ciertas condiciones de pendiente o con características de disgregación de sus partículas que lo hacen vulnerable a este proceso.

De acuerdo con lo anterior, existen formas de la erosión hídrica y formas de erosión eólica.

3.3.6.1. FORMAS DE EROSIÓN HÍDRICA.

3.3.6.1.1. EROSIÓN POR LAS GOTAS DE LLUVIA O EROSIÓN POR SALPICAMIENTO.

La erosión por las gotas de lluvia, consiste en la dispersión de los agregados del suelo como resultado del impacto directo de dichas gotas sobre la superficie del terreno. La energía que confieren las gotas de lluvia al terreno, provoca desplazamientos de las partículas del suelo que

alcanzan alturas hasta de 61 cm y distancias laterales de 152 cm en terrenos planos (Schwab *et al.*, 1971, citado por C.P., 1991). Además del salpicamiento del suelo, las gotas de lluvia mantienen al material fino en suspensión, lo que facilita su acarreo por las aguas de escurrimiento o escorrentía.

Se ha observado que la cantidad de suelo salpicado por las gotas de lluvia es de 50 a 90 veces más grande que la cantidad de suelo arrastrado por el flujo superficial (Smith, D.D. y Wischmeier W. H., 1962; citado por C.P., 1991). Se estima que en un suelo desnudo, las lluvias fuertes salpican más o menos 25 toneladas de suelo por hectárea. En terrenos planos este salpicamiento por las gotas de lluvia no es grave, pero en lugares con pendiente, la cantidad de suelo salpicado es mayor hacia las partes bajas que hacia las partes altas del terreno. Este efecto es la causa de una erosión grave en pendientes cortas y abruptas.

Los factores que afectan la dirección y distancia del salpicamiento del suelo son: la pendiente, el viento, y los impedimentos al salpicamiento, tales como la cobertura vegetal y las coberturas con residuos de cultivos anteriores. La erosión por las gotas de lluvia no sólo causa salpicamiento sino que también disminuye la agregación y destruye la estructura del suelo.

3.3.6.1.2. EROSIÓN LAMINAR.

El concepto idealizado de la erosión laminar ha sido el de una remoción uniforme del suelo, en capas delgadas de los terrenos en pendiente, que resulta de la saturación del suelo y su deslizamiento superficial por la pendiente.

En estudios realizados sobre la mecánica de la erosión y por medio de fotografías de alta velocidad, se ha podido observar que esta forma de erosión raras veces ocurre como un deslizamiento uniforme de una capa de suelo, ya que casi simultáneamente con el primer salpicamiento y movimiento del suelo se forman pequeños canales. El cambio constante de posición y la tendencia a formar meandros de estos canalillos, origina un falso concepto de erosión laminar.

3.3.6.1.3. EROSIÓN EN CANALES.

La acción de golpeteo repetido ejercida por las gotas de lluvia, combinado con el flujo superficial, provoca este minúsculo canaleo inicial. Desde un punto de vista dinámico, la fuerza erosiva de las gotas de lluvia es más importante que la de los escurrimientos superficiales, ya que las gotas de lluvia adquieren velocidades de caída que varían de 2.7 a 9.5 m por segundo, mientras que el flujo superficial apenas alcanza velocidades cercanas a 1 m por segundo (Laws, 1941; citado por C.P., 1991). Las gotas de lluvia desprenden las partículas del suelo y aumentan la cantidad de material en suspensión, lo que provoca una disminución en la infiltración, debido al sellado de los poros del suelo.

La erosión en canales es la remoción del suelo por el agua en pequeños surcos o arroyuelos cuando existe una concentración de flujo superficial. Convencionalmente se dice que ocurre la erosión por canales cuando éstos se han vuelto lo suficientemente grandes y estables para poder ser observados; sin embargo, pueden ser borrados con las labores agrícolas normales de preparación del terreno. Esta forma de erosión por canales es subestimada frecuentemente, pero se presenta en la mayoría de los suelo.

La erosión por canalillos o canales aumenta con la longitud y grado de pendiente, siendo mayor en áreas con pendientes fuertes y especialmente en la parte baja de los terrenos, mientras que la erosión por gotas de lluvia ocurre a todo lo largo de la pendiente del terreno.

3.3.6.1.4. EROSIÓN POR CÁRCAVAS.

La erosión por cárcavas es una forma más avanzada de la erosión por canales, donde la profundidad alcanzada por éstos es mayor que en el caso de la forma antes discutida y no siempre pueden ser cruzadas por la maquinaria agrícola. En algunas partes de México se conoce a las cárcavas como torrenteras, arroyos, zanjones, barrancas, etc.

3.3.6.1.5. EROSIÓN EN PEDESTALES.

Cuando se protege a un suelo fácilmente erosionable del impacto de las gotas de lluvia, por medio de piedras o por las raíces de los vegetales, quedan "pedestales" aislados, coronados con el material retenido. Se ha demostrado que la erosión de los terrenos adyacentes a los pedestales es debida, principalmente, a las gotas de lluvia más que al flujo superficial, ya que en la base del pedestal no existe socavación o es muy reducida.

Esta forma de erosión se desarrolla lentamente a través de los años y se localiza generalmente en manchones desnudos de terrenos con vegetación aislada. Puede presentarse también en terrenos arables que hayan sufrido una erosión excesiva durante una tormenta excepcional.

Su importancia estriba en que es posible calcular aproximadamente la profundidad del suelo que ha sido erosionado mediante un examen de la altura del pedestal.

Es importante diferenciar los pedestales de los montículos de pastos que frecuentemente tienen el nivel del suelo más elevado de la superficie del terreno circundante. Tales elevaciones del nivel del suelo, pueden mostrar su nivel original por haber sido erosionado el suelo que los rodeaba.

3.3.6.1.6. EROSIÓN EN PINÁCULOS.

Esta forma de erosión se asocia siempre con canales verticales profundos a los lados de las cárcavas que profundizan rápidamente hasta que se juntan y dejan al pináculo aislado. Una capa más resistente de grava o piedra, a menudo corona al pináculo, como en la erosión en pedestales.

Los pináculos son relictos de la condición natural del relieve, provocados por socavaciones del agua que fluye, y a menudo asociado con la erosión tubular.

El control de las cárcavas o cualquier intento de recuperación de los suelos en estas condiciones, es difícil cuando se presenta la erosión que da como resultado los pináculos. El uso agropecuario de áreas con este problema, es limitado por el alto costo de conformación de la superficie y la reducida cantidad de nutrientes del suelo.

3.3.6.1.7. EROSIÓN TUBULAR.

La formación de tubos continuos y canales subterráneos, es común en los tipos de suelos sujetos a erosión por pináculos. Esta forma de erosión ocurre cuando el agua que fluye se filtra a través de la superficie del suelo y se mueve hacia abajo hasta encontrar una capa menos permeable. Esta agua tiende a moverse sobre las capas permeables hacia una salida, si es que existe; por lo tanto, es posible que el material fino del suelo sea arrastrado por el agua. Esto, a su vez, permite un flujo más rápido con un aumento en la erosión lateral y en ocasiones todo el flujo superficial penetra a un tubo vertical y continúa su recorrido bajo la tierra, antes de reaparecer. Afortunadamente, la erosión tubular está restringida la mayoría de las veces a terrenos agrícolas de poco valor, por lo que su control es poco común.

3.3.6.1.8. EROSIÓN POR CAÍDA O REMONTANTE.

Esta forma de erosión es un proceso geológico que se presenta en las paredes de las cárcavas, sin ninguna intervención del hombre. La caída que se forma en la orilla de la cárcava, arroja el material salpicado contra la parte baja de esta cara, la cual se erosiona, dejando la parte superior sobresaliendo; cuando el peso de la parte sobresaliente es grande, ésta se desprende dando lugar a una nueva cara vertical, comenzando de nuevo el ciclo erosivo.

3.3.6.2. FORMAS DE EROSIÓN EÓLICA.

Aunque las formas de erosión eólica son menos espectaculares comparadas con las provocadas por la lluvia; su importancia es considerable en zonas planas en ciertos tipos de suelos. A continuación se explicarán brevemente las principales formas de erosión

3.3.6.2.1. EFLUXIÓN.

Remoción de las partículas del suelo de tamaño entre 0.1 y 0.5 mm de diámetro, iniciada y mantenida por la presión directa del viento. La saltación es la forma de desplazamiento casi exclusiva en esta modalidad de erosión eólica, aunque el viento puede desprender y llevar directamente en suspensión una pequeña proporción de las partículas más cercanas en tamaño al límite inferior.

3.3.6.2.2. EXTRUSIÓN.

Ocurre cuando las fracciones que componen el suelo son demasiado gruesas para que el viento las remueva directamente; es necesario que el viento llegue cargado de partículas más livianas para que pueda remover las gruesas, a través del golpe persistente contra la superficie del terreno. En esa forma la extrusión ocurre principalmente por medio de remolinos a ras del suelo.

3.3.6.2.3. DETRUSIÓN.

Es la remoción de partículas en las crestas de las irregularidades que presenta un terreno, las cuales están sometidas a la acción de los vientos de mayor velocidad en comparación con las

superficies lisas. Las partículas más pesadas, que no alcanzan a traspasar las zonas intermedias de menor velocidad, se desprenden y deslizan hacia las depresiones del terreno.

3.3.6.2.4. EFLACIÓN.

Actúa sobre las partículas más livianas, cuya velocidad terminal o crítica de caída es menor que el empuje vertical del viento en turbulencia. Dichas partículas se elevan a grandes alturas y no regresan a la tierra sino por efecto de las lluvias o al llegar a zonas de vientos muy débiles. Es la forma más grave de erosión eólica en terrenos arables, ya que remueve las partes más livianas del suelo, que son las más valiosas. En zonas sometidas a esta acción de eflación los terrenos llegan a ser más arenosos en razón de la pérdida de limos y arcillas.

3.3.6.2.5. ABRASIÓN.

Esta forma de erosión es producida por el golpe directo y continuo de partículas en saltación. Los suelos arcillosos son los más resistentes a esta forma de erosión eólica, y los francos y franco-arenosos, los más susceptibles.

3.3.7. CAUSAS DE LA EROSIÓN.

La erosión se presenta cuando el hombre rompe el equilibrio en los elementos de un ecosistema. Cuando lo suelos están desprotegidos de vegetación y a merced de los agentes naturales activos, la erosión se hará presente con sus consecuencias ecológicas, económicas y sociales.

Existen causas directas y causas indirectas de la erosión.

3.3.7.1. CAUSAS DIRECTAS DE LA EROSIÓN.

Las causas directas de la erosión son las que condicionan al suelo a sufrir erosión y lo hacen vulnerable a este proceso. En general, las causas directas inciden en la falta de protección del suelo a los agentes naturales activos.

3.3.7.1.1. DEFORESTACIÓN.

La deforestación es la eliminación de la cubierta vegetal consistente principalmente en árboles en una zona dada y puede ser una causa de erosión cuando este tipo de vegetación arbórea es la única protección del suelo. Los suelos de los bosques son generalmente afectados por la erosión cuando los diferentes niveles de dosel de vegetación son eliminados por dos razones: (a) por la falta de material de absorción de la energía cinética de las gotas de lluvia y (b) por la interrupción del ciclo de la materia orgánica y de la falta de acumulación de ésta sobre el suelo.

La eliminación de los bosques y de la vegetación natural en si misma significa un cambio radical en estos ecosistemas y la causa principal de la erosión.

3.3.7.1.2. TALA INMODERADA.

La tala inmoderada es la eliminación de todo tipo de vegetación de determinado ecosistema y es alentada por la explotación recurso forestal sin implementar un programa adecuado de renovación. La tala inmoderada es la eliminación indiscriminada de vegetación con fines de aprovechamiento de la madera, aunque los árboles no presenten las características de corte adecuadas.

3.3.7.1.3. EL SOBREPASTOREO.

Otra causa directa de la erosión es el sobrepastoreo o la sobreexplotación de la cubierta vegetal aprovechable para alimentación de ganado de pastoreo. La erosión es causada por la desaparición de la vegetación que protege al suelo por una sobrecarga del número de animales por unidad de área de pastoreo.

La capacidad de regeneración natural de la vegetación es limitada cuando se somete a ésta a una presión de pastoreo mayor a la que puede soportar, terminando por su desaparición.

3.3.7.1.4. CAMBIO DE USO DEL SUELO.

La apertura de nuevas áreas agrícolas y ganaderas en ecosistemas de bosque templado o tropical, conlleva irremediablemente a que se presente la erosión siempre y cuando existan las condiciones de pendiente y actúen los agentes activos.

3.3.7.2. CAUSAS INDIRECTAS DE LA EROSIÓN.

Las causas indirectas de la erosión son las razones por las cuales el hombre hace susceptible al suelo a un proceso de pérdida de material edáfico. Estas causas tienen relación con fenómenos sociales, económicos y culturales.

3.3.7.2.1. LA SOBREPOBLACIÓN.

Cada superficie de suelo tiene una capacidad de producción máxima estable, la cual se alcanza al aplicarle los mejores sistemas agrícolas conocidos. Ella no puede sobrepasarse sin saquear las reservas del suelo y disminuir su fertilidad. Esa capacidad de producción varía no solo con las características de los suelos, sino también con el grado de avance tecnológico de la sociedad. Cuando un número excesivo de personas tiene que extraer su sustento de cada determinada área de terreno, se ejerce una gran presión de uso que da origen a prácticas y sistemas inconvenientes. Se destruyen entonces los bosques para establecer cultivos en ocasiones en terrenos con pendientes excesivas.

Es necesario pensar que mientras que la población crece en forma logarítmica, la superficie cultivable aumenta en pequeñas proporciones en casos excepcionales, pero que en general disminuye en forma alarmante. De acuerdo a lo anterior, para poder alimentar a esa población en continuo crecimiento es necesario obtener cada vez mayores rendimientos.

3.3.7.2.2. LA TENENCIA DE LA TIERRA.

En nuestro país donde la tenencia del recurso suelo ilustra un problema de falta de equidad, y donde una gran mayoría de productores agrícolas tiene menos de una hectárea, el fenómeno de una sobreexplotación de los terrenos y la aparición de la erosión es factible.

La división de las dotaciones de la propiedad social de generación a generación a desembocado en el minifundio. El minifundio es la tenencia de una superficie de terreno agrícola de tamaño tan pequeño que a veces llega a uno que otro surco, que no garantiza la producción de alimentos para el usufructuario ni para su familia.

La presión sobre los suelos para obtener cada vez más rendimientos conduce a su sobreexplotación y a la erosión agravada por otros fenómenos de degradación del suelo.

3.3.7.2.3. LOS PRECIOS DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS BÁSICOS.

Los topes a los precios de los productos agrícolas y su estandarización con los precios internacionales, provoca una devaluación de los productos agrícolas y la descapitalización del campo. Tal situación es, por desgracia, la que prevalece en la mayor parte del sector agrícola. Los subsidios que deberían canalizarse a la producción son aplicados al consumo; agravando más la situación del campo.
Las tierras de riego son destinadas para cultivos que pretenden ser rentables y de exportación, y los terrenos con variable riesgo de erosión son cultivados con maíz, fríjol, etc. De la compleja problemática, resulta como uno de sus efectos más notorios, la degradación del recurso suelo, incluida la erosión.

3.4. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO Y AGUA

Las prácticas de conservación del suelo y del agua tienen por objetivo central el de evitar la pérdida de suelo por efecto de la acción del agua de lluvia, viento y las malas prácticas de cultivo. Así también, se trata de mantener el equilibrio ecológico al disminuir la velocidad del agua y permitir su filtración del agua en el suelo y recargar los acuíferos. Las prácticas de conservación del suelo y del agua se dividen en: vegetativas, mecánicas y agronómicas.

3.4.1. PRÁCTICAS VEGETATIVAS.

Las prácticas vegetativas son aquellas que consideran el desarrollo de plantas o cultivos con la finalidad de aumentar la resistencia del suelo contra la erosión a partir de la protección de la vegetación. Entre estas prácticas tenemos:

1. Reforestación o revegetación.
2. Cortinas rompevientos.
3. Plantación de barreras vivas con especies perennes (setos vivos).
4. Plantación de especies nativas perennes en bordos de tinas ciegas, zanjas-bordo y zanjas de infiltración tipo trinchera.
5. Plantación de barreras vivas con maguey y nopal.
6. Empastado de taludes de cárcavas.
7. Repastización de agostaderos.

8. Cultivos de cobertera.
9. Manejo de pastizales.

Figura 2. Cercos vivos con especies perennes.

Figura 3. Cortinas rompevientos.

Figura 4. Bordos vivos o "magueyeras".

3.4.2. PRÁCTICAS MECÁNICAS.

Son obras civiles o estructuras que impiden que el agua tome grandes velocidades y forme escorrentías que provoquen el desplazamiento del suelo, que el suelo tienda a moverse y evitar la erosión en terrenos con pendiente:

1. Bordo de abrevadero con cortina de tierra compactada (presa de tierra o represa).
2. Presa de mampostería.
3. Presa de concreto.
4. Ollas de agua (jagüey o bordos de agua).
5. Cajas de captación (trampas de agua, estanques).
6. Bordos o canales de derivación de escurrimientos (bordos conductores).
7. Presas derivadoras o de desviación de escurrimientos (presas vertedoras o azudes).
8. Bordería interparcelaria para entarquinamiento (cuadros de inundación).
9. Galerías filtrantes (galerías subálveas).
10. Drenaje de terrenos agropecuarios o desagües.
11. Canales conductores.
12. Presa filtrante de costales.
13. Presa filtrante de gaviones.
14. Presa filtrante de piedra acomodada.
15. Presa filtrante de troncos y ramas.
16. Tinas ciegas (zanjas trinchera):
17. Terrazas de banco (bancales).
18. Terrazas de base ancha (terrazas de caballete).
19. Terrazas de base angosta.
20. Terraza individual.

Figura 5. Olla de agua o "Jagüey"

Figura 6. Presas filtrantes de gaviones.

3.4.3. PRÁCTICAS CULTURALES O AGRONÓMICAS.

Son todas aquellas prácticas relacionadas con el manejo agronómico de los cultivos y que tienden a mantener una cubierta vegetativa sobre el suelo, mejorar sus características físicas y reducir su pulverización:

1. Rotación de cultivos.
2. Trazo de surcos a nivel o perpendicular a la pendiente.
3. Cultivos en fajas.
4. Abonos verdes.
5. Cultivos de cobertera.
6. Distribución adecuada de los cultivos.
7. Optima densidad de población.
8. Instalación de acolchados.
9. Utilización de semilla certificada.
10. Abonado o estercolado.
11. Labranza cero o de conservación.
12. Optima fertilización.
13. Riego localizado a baja presión.

3.4. BIBLIOGRAFÍA.

1. AHMAD, Y.F. and KASSAS, M., 1987. ***Desertification***: Financial support for the biosphere. London. Hodderand Soughton.

2. COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 1991. ***Manual de Conservación del Suelo y del Agua***. Tomos I y II. Tercera edición. Chapingo, México.

3. CONFERENCE ON DESERTIFICATION, 1977 (Nairobi). ***Desertification and its Control***. New Delhi. Indian Council of Agricultural Research.

4. KRAMER, P.J., 1989. ***Water Relations of Plants***. Acad. Press.,Inc. E.U.A

5. PAYLORE, P., and HANEY, R. A., 1976. ***Desertification: process, problems, perspectives***. University of Arizona, Tuckson, E.U.A.

6. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. 2009. **Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua.** México. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. 2009. Catálogo de obras y prácticas de conservación de suelo y agua. México.

7. SUAREZ DE CASTRO, F., 1982. ***Conservación de Suelos***. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.