



EDAFOLOGÍA 1



EDAFOLOGÍA 1

α LFA



EUROPEAID
CO-OPERATION OFFICE



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO



Università degli Studi
Guglielmo Marconi
TELEMATICA



**Universidad Nacional
Autónoma de Nicaragua**



Universidad de Valladolid

Módulo:

EDAFOLÓGIA 1

Primera Edición - 2011

Diseño e Impresión:

Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.

Calle 3 Carrera 10 Esquina Zona Industrial Villamaría - Caldas - Colombia

Tel. (57) (6) 877 0384 / Fax: (57) (6) 877 0385

www.espaciograficosa.com

COLABORADORES:

COORDINADORES LOCALES DEL PROYECTO UNIVERSIDAD EN EL CAMPO

Ing. César Andrés Pereira Morales
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - Managua - Nicaragua

Dr. Carlos César Maycotte Morales
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - México

MsC. Beatriz Elena Restrepo
Universidad de Caldas - Colombia

Dr. Francesco Mauro
Universidad Guglielmo Marconi - Italia

Dr. Abel Calle Montes
Universidad de Valladolid - España

Lic. María José Esther Velarde
Universidad Mayor San Andrés - Bolivia

COORDINADOR INTERNACIONAL PROYECTO UNIVERSIDAD EN EL CAMPO

Esp. Guillermo León Marín Serna
Universidad de Caldas - Colombia

EXPERTOS EN EDUCACIÓN, PEDAGOGÍA Y CURRÍCULUM

Ms.C. María Luisa Álvarez Mejía
Docente Ocasional Universidad de Caldas - Departamento de Estudios Educativos

Ph. D. Henry Portela Guarín
Profesor Titular Universidad de Caldas - Departamento de Estudios Educativos

EVALUACIÓN DE MÓDULOS BAJO EL MODELO PEDAGÓGICO ESCUELA NUEVA

Equipo de Educación Comité Departamental de Cafeteros de Caldas



PRESENTACIÓN

La Universidad de Caldas, en asocio con la Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia), la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (México), la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (Managua), la Universidad de Valladolid (España) y la Università degli Studi Guglielmo Marconi (Italia), han convenido desarrollar el proyecto, la Universidad en el Campo UNICA, el cual tiene como objeto estructurar e implementar un programa de educación superior en los niveles técnico, tecnológico y profesional enfocado en el sector agropecuario, en articulación con la educación secundaria, que permita el ingreso a la universidad de jóvenes rurales en los 4 países latinoamericanos.

Este proyecto nace desde la propuesta que se viene desarrollando en Colombia desde el año 2008, donde se pretende articular la educación superior con la educación media y más específicamente en el departamento de Caldas, donde gracias a las alianzas realizadas entre el sector público y el sector privado, representados por la Secretaría de Educación del Departamento, el Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, la Central Hidroeléctrica de Caldas - Chec y la Universidad de Caldas, se ha podido ofrecer educación a jóvenes rurales, que dadas a sus condiciones socioeconómicas y geográficas, ven limitado su acceso a la educación superior bajo los esquemas en que tradicionalmente han sido ofertados los programas académicos.

Ahora bien el proyecto UNICA se hace posible a los aportes económicos realizados por el programa ALFA III, de la oficina de Cooperación de la Comisión Europea, que promueve la cooperación entre instituciones de educación superior de la Unión Europea y América Latina y que gracias a este, cerca de 500 jóvenes de México, Bolivia, Nicaragua y Colombia podrán acceder a estos programas de una manera gratuita y en condiciones de calidad y pertinencia.

América Latina es un continente marcado por la ruralidad y al mismo tiempo ha sido una región rezagada en términos educativos y formación del recurso humano. Con este proyecto se pretende entonces formar nuevos profesionales que aporten al desarrollo del sector agropecuario latinoamericano en el marco de la sostenibilidad, buscando que las producciones agropecuarias desarrolladas en las localidades de estos cuatro países sean económicamente viables, ambientalmente sanas y socialmente justas.

Esperemos pues que los contenidos presentados en este módulo aporten a la construcción del conocimiento y que favorezcan el desarrollo económico de las poblaciones más vulnerables de América Latina.

Es importante aclarar que este material es una primera versión que debe considerarse como material de evaluación y que estará sujeto a las modificaciones que se requieran.

Igualmente agradecer a los autores de los módulos, a los expertos en pedagogía y currículo a los coordinadores locales y a todas las personas que de una u otra manera han dedicado su tiempo y esfuerzo a que este proyecto sea una realidad.

GUILLERMO LEÓN MARÍN SERNA

Coordinador Internacional

Proyecto UNICA “Universidad en el Campo”

Universidad de Caldas - Unión Europea

JUSTIFICACIÓN

Edafología: su nombre viene del griego “edaphos” que significa superficie de la tierra y estudia el suelo desde todos los puntos de vista: morfología, composición, propiedades, formación y evolución, taxonomía y distribución, utilidad, recuperación y conservación. La edafología constituye una de las asignaturas básicas de las ciencias agropecuarias puesto que se encarga de describir el medio de producción y el medio donde se desenvuelven todos los factores relacionados con los recursos naturales.

La justificación de la enseñanza de la Edafología, en los planes de estudio del futuro técnico profesional en desarrollo rural sostenible reside en la consideración del suelo como principal medio de producción. Las tareas de utilización del suelo encaminadas a la productividad deben encuadrarse en el conocimiento de todos los factores que afectan a su conocimiento y con base a ello garantizar el uso sostenible del recurso suelo. El futuro técnico deberá ser capaz de identificar los suelos, desde un punto de vista global, y decidir la idoneidad o no de ubicar allí un determinado cultivo, con argumentaciones razonadas acerca de las propiedades edafológicas y su relación con la vegetación.

Uno de los grandes desafíos de las ciencias agropecuarias es la correcta coordinación de productividad y conservación del suelo. Prácticas inadecuadas, basadas en la producción a corto plazo han provocado la pérdida de fertilidad y el cambio de potencialidad edafológica. Para evitar estos problemas de uso, el técnico deberá tener un conocimiento profundo del suelo que trabaja.

OBJETIVO GENERAL

Identificar los conocimientos básicos sobre la formación y propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, con aplicación de diferentes tipos de muestreos y las determinaciones analíticas necesarias para su caracterización y para la aplicación de las mejores técnicas de producción y de conservación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Relacionar las exigencias de un determinado cultivo con las características edáficas mineral y orgánica del suelo.
2. Reconocer la importancia de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.
3. Explicar la dinámica de los distintos nutrientes en los suelos y su papel como elementos fundamentales en la nutrición de las plantas.

4. Clasificar y evaluar el suelo brindando elementos clave para su conservación
5. Describir los procesos de absorción y de intercambio de agua que tienen lugar en los suelos.

COMPETENCIAS GENÉRICAS *

• COMPETENCIAS INSTRUMENTALES

- Conocimiento sobre el área de estudio y profesión.
- Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas.
- Capacidad de comunicación oral y escrita.

• COMPETENCIAS INTERPERSONALES

- Capacidad de trabajo en equipo

• COMPETENCIAS SISTÉMICAS

- Capacidad de aprender y actualizarse permanentemente.
- Compromiso con la preservación del medio ambiente.

• COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

1. Describe el tipo de especie vegetal adecuada de acuerdo al tipo de suelo, en función de sus requerimientos y restricciones, teniendo en cuenta los componentes del mismo.
2. Relaciona las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para proponer iniciativas encaminadas hacia su protección y conservación.
3. Explica la importancia de los nutrientes esenciales del suelo y su relación directa con la productividad.
4. Clasifica los suelos de acuerdo a sus características físicas y químicas y propone acciones para su apropiada utilización y conservación.
5. Reconoce los principales elementos de la estructura hidroagrícola, los factores que afectan su utilización y su influencia en la producción agropecuaria.

* Competencias adoptadas del Proyecto Tuning América Latina.

Contenidos cognoscitivos (resultado del conocer y el saber)	Contenidos procedimentales (procesos, procedimientos, demostraciones y acciones relativas al conocer y al saber aplicado)	Contenidos actitudinales (acciones frente al proceder, conocer y saber)
Identifica los diferentes componentes orgánicos e inorgánicos del suelo.	Verifica, a partir de una serie de características, el tipo de suelo y el tratamiento adecuado de éste en contextos específicos.	Toma conciencia acerca del compromiso ético que contiene una adecuada utilización y conservación del suelo.
Integra las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.	Demuestra las ventajas y desventajas del suelo, a partir de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.	Forma parte de equipos de trabajo que demuestran la relación positiva existente entre la producción y sostenibilidad.
Identifica los principales nutrientes presentes en el suelo.	Propone situaciones y experimentos que confirmen la capacidad de uso de suelo, la acción de los elementos esenciales del suelo y la especie vegetal adecuada al tipo de suelo.	Se responsabiliza de un uso edáfico ecológico y respetuoso con el medio ambiente.
Establece el balance entre rentabilidad, uso sostenible y conservación del suelo.	Da ejemplos de situaciones que precisan formas de evaluación y conservación del suelo.	Comparte, con respeto, conocimientos adquiridos a los compañeros.
Explica las infraestructuras hidroagrícolas.	Diseña, para la comunidad, un periódico en donde se explicita el manejo adecuado del agua en todas sus posibilidades, incluyendo los tipos de riego.	Se compromete al cuidado y buena utilización del agua a partir de situaciones cotidianas que van modificando actitudes en la cultura.



FRANCISCO J. CHAVARRÍA ARÁUZ

RESUMEN DE VIDA

Ingeniero Agrónomo de UPONIC, Maestro en Ciencias en Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Autónoma de Barcelona - España y UNAM Managua.

Coordinador de la línea de investigación sobre cambio climático dentro de la iniciativa Centro de Investigación Multidisciplinario en Desarrollo Rural, Facultad Regional Matagalpa, UNAM - Managua.

Profesor investigador auxiliar de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, en FAREM Matagalpa, Nicaragua. Encargado de las asignaturas de Suelos I, Suelos II y Suelos III, además de Riesgo y Drenaje Hidráulica.

En el desempeño de la labor docente he estado a cargo de dirigir veinte investigaciones tanto de pregrado como de maestrías. Muchas de las cuales están referidas a temas de Suelos y Agua. Entre las investigaciones realizadas se mencionan:

1. Evaluación de la calidad del suelo y de la diversidad de su macrofauna en cacaotales de Waslala, RAAN, Nicaragua. Investigación conjunta con CATIE-PCC.
2. Extracción de nutrientes en sistemas de producción de café con banano en el municipio de Cúa 2010-2011. Investigación conjunta con CATIE-Mesoterra.
3. Consultoría al MCN para capacitación a facilitadores y técnicos en prácticas agroecológicas. Esto servido por UNAM Managua FAREM Matagalpa. Mayo a septiembre 2011.
4. Estudio internacional realizado a Ingeniería sin Fronteras sobre Biocombustibles en Perú, Tanzania y Nicaragua. Encargado de caso Kukra Hill. Presentado en Madrid - España. 2010.
5. Caracterización de condiciones Edafoclimáticas de Comunidades de Intervención de Proyectos CARITAS en Matiguás y San Ramón con apoyo de CESAL. (diciembre 2007 - Enero 2008).
6. Consultor Especialista en la Rama de café "Estudio Ramas Industriales PASMA/DANIDA con la empresa Multiconsult y CÍA. Ltda. Julio/04 a Enero/05.



Tabla de Contenido

UNIDAD 1

Los Constituyentes del Suelo..... 15

1. Introducción a la Edafología 16
2. Minerales y arcillas.....22
3. Los componentes orgánicos.....25

UNIDAD 2

Las Propiedades Físico-químicas y Biológicas del Suelo35

1. Balance del agua 38
2. Propiedades físicas de los suelos44
3. Propiedades químicas de los suelos..... 52
4. Propiedades biológicas de los suelos 56

UNIDAD 3

Los Nutrientes..... 65

1. Elementos esenciales..... 66
2. Nitrógeno y otros elementos.....69
3. Oligoelementos.....78
4. Capacidad de usos de suelo91

UNIDAD 4

Clasificación de los Suelos 99

1. Clasificación de suelos
(práctica: metodología de toma de muestras para análisis químico) 101
2. Horizontes de suelos113
3. Conservación de suelos 120

UNIDAD 5

Infraestructuras Hidroagrícolas 131

- 1. Clasificación del agua en el suelo..... 133
- 2. Infraestructura para el agua potable 135
- 3. Infraestructura para agua de riego..... 148
- 4. Tipos de riego 155



UNIDAD 1

LOS CONSTITUYENTES DEL SUELO

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Relacionar las exigencias de un determinado cultivo con las características edáficas mineral y orgánica del suelo.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

- Describe el tipo de especie vegetal adecuada de acuerdo al tipo de suelo, en función de los requerimientos y restricciones, teniendo en cuenta los componentes del mismo.

1. INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA

A *Vivencias*

La edafología en el quehacer de los agrónomos es de vital importancia debido a que el suelo es el principal medio de producción para la agricultura exceptuando la producción hidropónica.

Si todos conociéramos los suelos en que cultivamos, se evitarían un sinnúmero de problemas relacionados a la degradación y contaminación, por el mal uso y manejo que se les da. De igual manera se hubiesen evitado miles de muertes ocasionadas por la ocurrencia de eventos de remoción en masa, licuefacción e inundaciones, entre otros.

TRABAJO EN EQUIPO

1. Nos organizamos en equipos de cuatro personas cada uno para dar respuesta a las siguientes preguntas. Elegimos un relator para tomar nota y organizar los aportes dados por cada integrante del equipo, un controlador de tiempo y un ayudante.
 - a) ¿Desde nuestro conocimiento a qué le podemos llamar suelo?
 - b) ¿Qué diferencia existe entre suelo y tierra?
 - c) Reconocemos los tipos de suelo que hay en nuestra comunidad, de acuerdo a características como el color y la pendiente que tienen.
 - d) En nuestra comunidad ¿Qué consistencia presentan los suelos?
 - e) ¿Son fáciles de trabajar los suelos cuando están mojados?
 - f) ¿A qué se debe que los suelos sean difíciles de trabajar cuando se encuentran mojados?
 - g) ¿De qué color generalmente son los suelos que son difíciles de trabajar cuando se encuentran mojados?
 - h) En los suelos que son difíciles de trabajar. ¿Qué pasa con el agua cuando llueve mucho? ¿Escurren rápidamente? ¿Se encharcan?
 - i) ¿Qué es la materia orgánica?

j) ¿Por qué es importante que los suelos contengan materia orgánica?

k) ¿Qué podríamos hacer para reponer o mantener los niveles de materia orgánica en los suelos?

EN PLENARIA GENERAL

2. Socializamos el trabajo realizado al docente y demás compañeros del aula de clase, aclaramos dudas de ser necesario.

B *Fundamentación Científica*

TRABAJO EN EQUIPO

1) En equipos de trabajo hacemos la siguiente lectura, la analizamos y tomamos nota sobre los puntos que consideremos más importantes

¿A QUÉ SE LE LLAMA EDAFOLOGÍA?

Es la ciencia que se encarga de estudiar el suelo en todos sus aspectos; desde su morfología, su composición, las propiedades tanto físicas como químicas y biológicas, su formación y evolución, taxonomía y distribución, su utilidad, recuperación y conservación (Chavarría, F. 2009)

¿PARA QUÉ SIRVE LA EDAFOLOGÍA EN LAS CIENCIAS AGRARIAS?

La edafología para quienes estudian la agronomía es esencial para poder conocer el suelo, su potencialidad, sus limitantes, posibles técnicas para mejorarlo, como poder explotarlo, etc.

¿QUÉ ES EL SUELO?

Según Weii 2000, citado por Chavarría, F (2009), el suelo constituye la esencia del estudio de la edafología. Se le considera al suelo como un ser natural estructurado, que se encuentra en constante cambio y que para su formación y evolución depende de factores bióticos como abióticos. Entre estos factores está el clima, organismos, el relieve y el tiempo; todos ellos actuando sobre el material parental, la roca madre.

¿CÓMO SE FORMA Y TRANSFORMA EL SUELO?



El clima es un factor importante en la formación y evolución de los suelos al facilitar la meteorización de la roca madre. Las lluvias y el sol, son dos agentes que propician la formación de los suelos. Las rocas al estar expuestas al calor proveniente de los rayos solares se calientan y luego al darse una precipitación repentinamente se enfrían, provocando que se agrieten con el tiempo (meteorización física) y permitan luego el ingreso de sales minerales contenidas en las lluvias (meteorización química), que hacen que las grietas se hagan más pronunciadas y finalmente las rocas se fragmenten (UEX, 2005).

La meteorización química de la roca madre se reconoce al darse cambios en su coloración. Primeramente se observan coloraciones que varían de amarillo a pardas, al principio apenas perceptible y al irse acentuando el proceso éstas se vuelven más intensas.

Las lluvias y la temperatura, influyen directamente en la cantidad de arcilla presente en un suelo, contribuyendo con esto a la fertilidad de los suelos. En cuanto a la materia orgánica, las precipitaciones altas contribuyen a su mayor concentración pero la temperatura al incrementarse hace que la materia orgánica se destruya, haciendo que sea menor su contenido en los suelos.

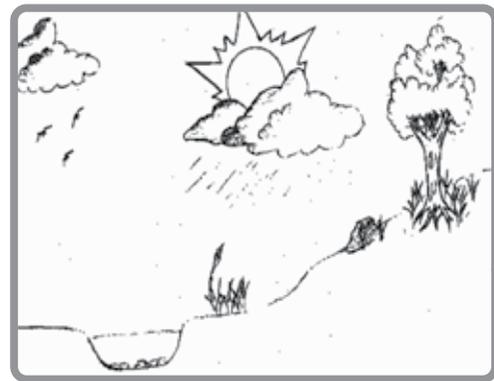


Figura. Factores formadores de suelo
(Dibujo Becker Chavarría L.)

Las precipitaciones también tienen un efecto en cuanto al pH (potencial hidrógeno) de un suelo.

- ↑ Altas precipitaciones, hacen que el pH se vuelva más ácido, por la acumulación del ión hidrógeno contenido en el agua.
- ↓ Precipitaciones bajas harán que el pH de una zona sea más alcalino o básico

¿Y QUÉ PAPEL JUEGAN LOS ORGANISMOS?

Los organismos del suelo constituyen la fuente de material original para la fracción orgánica del suelo que antes dijimos puede ser entre un poco más de cero hasta más de 15%. Los organismos pueden ser tanto restos de vegetales como de animales que al morir y depositarse en el suelo sufre profundas transformaciones facilitadas por factores físicos, químicos y biológicos.

Ejercen importantes acciones de alteración de los materiales edáficos. Los organismos transforman los constituyentes del suelo al extraer los nutrientes imprescindibles para su ciclo vital. El papel de los microorganismos en la transformación de la materia orgánica es tan importante que sin ellos la formación de suelos requeriría mucho más tiempo.

Producen una intensa mezcla de los materiales del suelo como resultado de su actividad biológica.



Foto. Gallina ciega extraída de suelo en SAF
(Foto Chavarría, D. y Torrez, M. 2010)

Los organismos en el suelo sobre todo la fauna, pueden ser tanto los grandes como las gallinas ciegas (*Phyllophaga sp*), lombrices por ejemplo *Eisenia foetida*, los escarabajos como los estercoleros, los miriápodos como los ciempiés, pequeños organismos vegetales. A organismos como éstos, los conoceremos como macro organismos, pero los hay un poco más pequeños como los isópteros, llamados también termitas. A éstos les llamaremos meso fauna o meso organismos del suelo. Finalmente tenemos a otros aún más pequeños, que en casos tendremos que usar microscopios o estereoscopios para poder observarles. Entre éstos tenemos los nematodos, que son pequeños gusanos aplanados, tenemos a los hongos, bacterias y virus (Chavarría, D.; Torrez, M. 2010).

¿DE QUÉ FORMA EL RELIEVE INTERVIENE EN LA FORMACIÓN O EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS?

La forma en que se encuentre localizado el suelo lo hará más propenso a pérdidas de material (erosión) o a mayor radiación solar por su inclinación, pero también permitirá una mayor infiltración del agua, en aquellos casos en que existan depresiones o bien que escurran cuando el terreno sea inclinado.

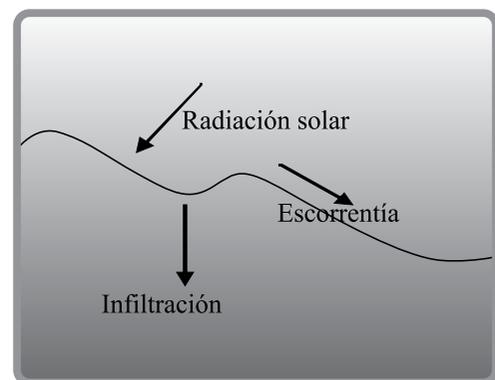


Figura. Papel del relieve en formación de suelos (Elaboración propia)

PAPEL DEL TIEMPO EN LA FORMACIÓN DEL SUELO

Para que se dé la formación de los suelos, ocurren una serie de procesos en los que intervienen diversos factores. Entre ellos los climáticos como la lluvia, la temperatura, el viento, la humedad relativa, etc. O bien por el relieve; en donde se debe resaltar la

pendiente. Todos los procesos así como los factores ocurren en un espacio de tiempo. Ahora bien ¿De qué depende la velocidad de formación o transformación de un suelo?. Los suelos van a tardar más o menos tiempo en formarse según sea la intensidad de factores formadores, ya que a mayor temperatura, la velocidad se verá acelerada. A mayor presencia de organismos tanto macro, meso o micros, la velocidad de formación será mayor (UEX, 2005).

Para determinar la evolución de los suelos se utilizan diferentes métodos, siendo las cronosecuencias desarrolladas en terrazas pluviales, las más utilizadas universalmente.

¿PERO CÓMO SE SABE ESTO?

La terraza más alta, es la más antigua, y al ir descendiendo en sentido hacia el cauce son más recientes.

A medida que un suelo va cambiando una propiedad específica, va cambiando su función con el avance del tiempo. A esto se le llama "cronofunción". Esto es de vital interés de conocer, para así modificar los usos que se le den al suelo o en su defecto buscar alternativas para conservar las propiedades iniciales.

¿QUÉ PAPEL JUEGA LA ROCA MADRE EN LA FORMACIÓN DE LOS SUELOS?

Según Jenny (1940) citado por UEX (2005), la roca madre se constituye en la fuente principal de los materiales sólidos. Por lo general los minerales presentes en el suelo tienen su origen de manera directa o indirecta en la roca madre.

La influencia de parte de las rocas en los elementos y propiedades físico-químicas de los suelos está muy marcada en los suelos jóvenes. Esta relación se hace menos visible a medida que los suelos envejecen o se desarrollan.

Los principales parámetros de la roca que inciden en la formación y evolución de los suelos, son los siguientes:

1) Composición mineralógica:

Las rocas que contienen abundantes minerales inestables evolucionan fácil y de manera rápida dando origen a los suelos, mientras que otras como las arenas maduras, que al contener minerales muy estables, como el cuarzo o pedernal, que con mucho esfuerzo llegan a edafizarse aunque estén expuestas durante largo tiempo a la meteorización.

2) Permeabilidad:

Este parámetro de las rocas permite la penetración



Foto. Fragmentación de rocas debido a penetración de plantas (Chavarría, F)

y circulación del aire y del agua, lo que facilita la fragmentación, alteración y traslocación de los materiales constituyentes de las rocas.

3) Granulometría:

El tamaño de las partículas que componen la roca va a representar una fuerte incidencia en la clase textural de los suelos que de ellas se deriven.

¿CÓMO ESTÁ CONSTITUIDO EL SUELO?

El suelo se compone esencialmente de una parte sólida, a ésta le llamamos Fase Sólida del suelo. Ésta a la vez posee arcillas y una pequeña fracción de materia orgánica. La fase sólida constituye el 50% del total de suelo. Aproximadamente el 25% por ciento del suelo está ocupado por gases y el 25% restante por agua sobre todo del tipo capilar e higroscópica.

En la fase sólida se distinguen dos partes principales, una la constituye la materia orgánica y la otra por las arcillas.

En la fase sólida del suelo, la fracción de materia orgánica generalmente es de 0- a 5% pero se encuentran suelos sobre todo los antroposoles que contienen mayor porcentaje, llegando hasta más de 15%.

Los suelos dependiendo del clima donde se desarrollen así como la proporción de los constituyentes, va a contener mayor o menor humedad. Cambiando así también el tipo de agua que contenga.

De la forma en que esté formado el suelo (proporción de constituyentes) dependerá el uso que se le de tanto para agricultura como para ganadería (Chavarría, F, 2009).

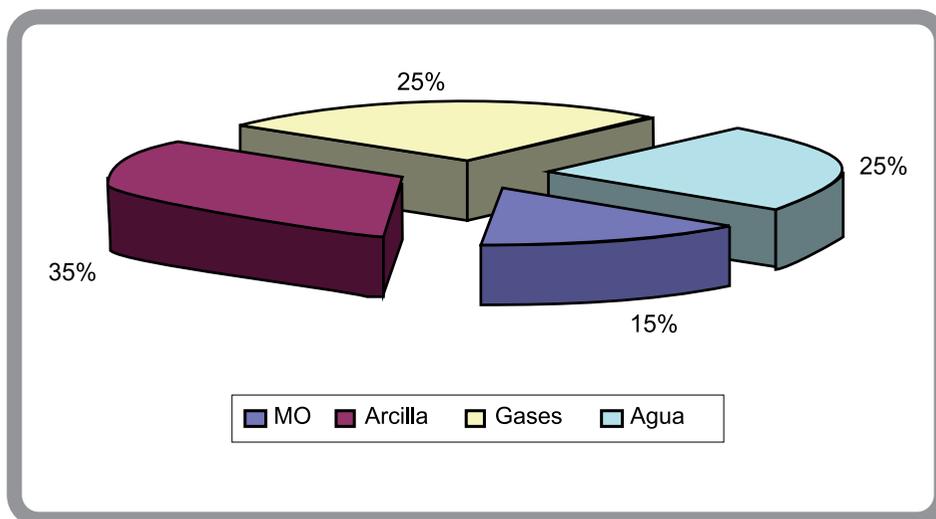


Figura sobre composición de los suelos (Elaboración propia)

2. MINERALES Y ARCILLAS

Los minerales primarios y las arcillas son aquellos que constituyen el material original del suelo, pueden pasar a éste por un proceso de micro división.

El contenido de minerales y arcillas en un suelo determinará la superficie específica y la CIC del suelo, lo que a la vez tiene incidencia en la fertilidad y nos indicará tanto la génesis como el uso que podría dársele a dicho suelo (Rucks, L. *et al.* 2004)

Los silicatos constituyen la mayor parte de los minerales presentes en el suelo. Los silicatos son los minerales típicos de las arcillas. Pero también se le puede encontrar en más del 90% de las rocas que constituyen la corteza terrestre.

Cualquiera sea el proceso de alteración, que conlleva a la formación del suelo, está basado en modificaciones estructurales de los minerales primarios y en la creación de nuevas estructuras silicatadas, conviene recordar la estructura de los silicatos más frecuentes, fundamentalmente aquellos que constituyen la fracción arcilla del suelo. Muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos se derivan de las estructuras silicatadas más que de su propia composición (UEX, 2005).

¿QUÉ SON LAS ARCILLAS?

Son partículas de carácter coloidal y monomineral que se han formado en el suelo o han sufrido transformaciones en él, aunque en algunos casos pueden ser heredados del material original mediante una microdivisión del mismo.

Las arcillas tienen un tamaño que va desde 0.00001 hasta 0.0002 (Durán, A. *et al.* Sf)

Todos los silicatos se encuentran constituidos por tetraedros en cuyo centro figura una molécula de silicio y cuyos vértices están ocupados por oxígeno. Según al grupo que pertenezcan, estos tetraedros pueden permanecer aislados o agruparse de diferentes modos.

De acuerdo a la forma en que se organizan las moléculas de silicio y oxígeno, los silicatos se clasifican en grupos, siendo los más representativos los siguientes:

GRUPO DE LOS FILOSILICATOS

Están constituidos por una capa indefinida de tetraedros que comparten tres de sus vértices de forma que quedan en un mismo plano. En el plano definido por el cuarto vértice de cada tetraedro se ubica un grupo oxidrilo (OH) en el centro del hexágono definido por los oxígenos tetraédricos. Este grupo OH y dos oxígenos del hexágono, forman un triángulo

sobre el que se apoya un octaedro cuyos otros tres vértices se sitúan en un plano superior, y están constituidos por grupos OH que pertenecen a una capa hexagonal centrada, o bien por un grupo OH y dos oxígenos, correspondientes a una capa tetraédrica análoga a la primera. Los huecos octaédricos pueden estar ocupados por Al o por Mg. En caso de contener Al se llamarían Aluminosilicatos.

Cuando solo existe una capa tetraédrica y otra octaédrica aparece un grupo de minerales que se conoce como filosilicatos 1:1 o te-oc; si sobre el grupo anterior aparece una segunda capa tetraédrica, el grupo se conoce como filosilicatos 2:1 o te-oc-te.

El silicio puede ser reemplazado, en parte, por aluminio en las capas tetraédricas, y también en las capas octaédricas, el aluminio puede ser reemplazado por magnesio y éste por litio. Todo ello genera unos déficits de carga positiva que son sustanciados por la presencia de cationes entre las capas, lo que les presta una mayor cohesión (UEX, 2005).

SUB GRUPO DE LOS FILOSILICATOS 1:1

Dentro del sub grupo 1:1, la arcilla más representativa es la llamada caolinita la cual es un mineral que se puede encontrar muy frecuentemente en sedimentos proveniente de meteorización de rocas ácidas o neutras situadas en ambientes con fuerte lavado. La caolinita está formada por 2 moléculas de silicio, cinco de oxígeno, un grupo oxidrilo y dos moléculas de aluminio.

En el sub grupo de los filosilicatos 1:1, también se encuentran las arcillas conocidas como haloisita y antigorita.

SUB GRUPO DE LOS FILOSILICATOS 2:1

En este sub grupo se distinguen dos tipos de arcillas; los alumínicos y los magnésicos.

FILOSILICATOS 2:1 DIOCTAÉDRICOS

El mineral tipo es la pirofilita, siendo este un mineral raro tanto en el suelo como en los sedimentos.

Otro mineral de este sub grupo es la moscovita, que es un componente normal de las rocas ácidas a neutras, predominando en las primeras y siendo sustituido progresivamente por la biotita al ir aumentando la basicidad. También se encuentran las ilitas.

Todos los minerales de los filosilicatos 2:1 dioctaédricos reciben el nombre genérico de esmectitas, y cuando se da sustitución en la capa octaédrica, aparece el más común de todos que es la montmorillonita, que es un mineral propio de las arcillas del suelo y solo rara vez se forman en los sedimentos, pudiendo aparecer cuando proceden del arrastre de antiguos suelos o cuando se formaron en medios muy ricos en bases.

FILOSILICATOS 2:1 TRIOCTAÉDRICOS

El mineral típico de este sub grupo lo constituye el talco, que rara vez aparece en los suelos y solo es frecuente en ciertas rocas metamórficas procedentes de rocas ultra básicas.

La arcilla conocida como vermiculita es otro mineral que se puede encontrar en el sub grupo de los filosilicatos del tipo 2:1 trioctaédricos. La transformación de la vermiculita es más rápida que la de la moscovita por su notable mayor labilidad.

FILOSILICATOS 2:1:1

En el sub grupo de los filosilicatos 2:1:1 sobresalen las cloritas, las cuales son una especie de micas de color verdoso, que presenta una estructura micácea tipo biotita en la que se intercala una capa de hidróxido magnésico.

Las cloritas son minerales propios de rocas metamórficas o de las sedimentarias derivadas de ellas y en el suelo siempre aparecen como heredadas del material original. Su evolución suele ser hacia hidromicas o vermiculita.

INTERPRETACIÓN DE PAPEL DE LAS ARCILLAS EN LOS SUELOS

Las arcillas tienen una gran importancia en la fertilidad de los suelos al intervenir directamente en la Capacidad de Intercambio Catiónico. Al mismo tiempo las arcillas según su estructura permiten tener una mayor superficie específica, la que contribuye a la retención de humedad o a evitar el lavado de nutrientes por parte de las aguas que se infiltran en las capas de los suelos.

La vermiculita es la que presenta la mayor CIC (150 meq/100g) pero es la segunda en cuanto a superficie específica (750 m²/g), siendo superada en este parámetro por la arcilla montmorillonita con 800 m²/g (Scheffer y Schachtschabel, citado por Durán, A. *et al.* Sf).

La presencia de arcilla en un suelo si bien es cierto tiene su influencia en la fertilidad del suelo, también dificulta las labores agrícolas cuando se encuentra en mayor presencia que las fracciones limo y arena. Una arcilla al ser más fina retendrá mayor cantidad de agua, al hacer más difícil que ésta pueda circular libremente por los espacios intersticiales.

Esto en los suelos crea un ambiente anóxico que para las plantas es grave, ya que no permite el intercambio gaseoso y la respiración radicular, provocando la muerte de la planta o facilitando la aparición de enfermedades del tipo fungosas y bacterianas (Chavarría, F. 2009).

Según Rucks, L. *et al* (2004) el contenido de arcilla juega un papel fundamental en la estabilidad de la estructura de un suelo aunque si hay sodio en el complejo de intercambio la arcilla pudiera volverse inestable. La materia orgánica también puede contribuir a la estabilidad de la estructura.

3. LOS COMPONENTES ORGÁNICOS

La agricultura desde su aparición se basa en la explotación del suelo. En muchos lugares por el mal uso que se le ha dado a los suelos, se ha perdido su fertilidad o bien lo han contaminado de manera que ahora atraviesan serios problemas de pobreza y hambre. Situación que los hace propensos a enfermedades, a la pérdida de autoestima, a la violencia, a la dependencia de otros, entre tantas consecuencias.

La materia orgánica constituyente del suelo tiene su origen en restos vegetales y animales que se depositan sobre los suelos, que luego de varios procesos se incorporan. Generalmente la materia orgánica fresca es la que compone los horizontes o capas del suelo denominados H y O, que a medida que profundicemos en el tema los abordamos en detalle.

Los suelos para reponer sus minerales requieren de las arcillas y de la materia orgánica. La materia orgánica se puede reponer. En cambio la arcilla proviene de la meteorización tanto física como química de las rocas.

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

GENERALIDADES

La materia orgánica primeramente sufre proceso de descomposición provocado por sus mismos sistemas enzimáticos. Luego es colonizada por un sinnúmero de organismos de la fauna de suelo en los que su diversidad y abundancia dependerá de las condiciones de manejo y microclima así como el tipo de material en descomposición. Esta fauna va a fragmentar en partículas más pequeñas que luego permite ser visitada por otros organismos especializados como hongos, bacterias y actinomicetos, entre otros, para seguir otros procesos de desdoblamiento de componentes del material depositado. Los primeros organismos en ocupar estos restos más pequeños son los hongos, que crean las condiciones para que los otros microorganismos se posesionen y aceleren la transformación del material (Chavarría, D. y Torrez, M. 2010)

Los hongos rompen las moléculas de lignina que forman las paredes de los vasos y las de celulosa que forman parte de las membranas celulares y eso deja expuesto el material al ataque de las bacterias que se nutrirán principalmente de las proteínas y de los azúcares presentes en el material. Como recompensa las bacterias liberan nitrógeno amoniacal (NH_4) y luego en forma nítrica (NO_3 o bien NO_2) para permitir que los hongos puedan nutrirse (Chavarría, F. 2009).

Como se pudo leer en el párrafo anterior, el papel de la fauna del suelo es de vital importancia para que se forme y transforme la materia orgánica. De allí que surge la necesidad de estudiarlos y valorizar el aporte a la economía rural ya que al facilitar el ciclaje de nutrientes nos ahorramos unas buenas sumas de dinero a la vez que evitamos la contaminación de los suelos con la aplicación de fertilizantes edáficos sintéticos (Chavarría, F. 2009).

Otro importante papel de algunos organismos de la fauna del suelo consiste en transportar materia orgánica tanto en la dimensión horizontal como en la vertical, facilitando así una mejor distribución y una actividad microbiana más acelerada.

La materia orgánica al pasar por todo el proceso de descomposición de parte de la fauna del suelo y facilitada por los factores climáticos, se convierte en sustancias humitas que son nuevamente atacadas y convertidas a minerales a través del proceso de mineralización o al contrario son retenidas (inmovilización), así se completan una serie de ciclos tanto biológicos, como químicos y geológicos.

ETAPAS DE TRANSFORMACIÓN

Para una mejor comprensión de todo el proceso de transformación de los restos orgánicos, se analizarán las etapas sucesivas que se dan.

a) Inicialmente sucede la alteración que sufren los restos vegetales antes de caer al suelo a esto se le conoce como "Transformación química inicial". Las hojas y otros órganos de las plantas son atacados por los microorganismos, aún estando en las plantas. Allí se producen importantes transformaciones en la composición y estructura de los órganos.



b) Posteriormente los restos vegetales y animales se acumulan y se van destruyendo mecánicamente, por lo que se le llama a esta etapa "Acumulación y destrucción mecánica". En esta destrucción participan la macro y meso fauna del suelo, dejando la materia orgánica lista para la siguiente etapa.

c) Finalmente se da la pérdida de estructura celular y la alteración de la composición del material original. A esto se le conoce como "Alteración química". Los restos terminan transformados e integrados en el suelo, convirtiéndose en parte del plasma del suelo.

Para que la última etapa se dé rápidamente es fundamental la relación C/N de los restos vegetales, ya que los microorganismos obtienen del carbono (C) su energía¹ y el nitrógeno lo utilizan para incorporarlo a su protoplasma. El C en los restos vegetales es muy abundante, aproximadamente del 58%.

Cuando la relación C/N es de alrededor de 100, se tiene una relación alta. Eso favorece la acidificación del material y la actividad biológica se ve reducida. Un ejemplo de esto son las coníferas sobre todo los pinos.

Cuando la relación C/N es de 30, se considera muy buena ya que la actividad microbiana se vuelve intensa, al contener suficiente nitrógeno los restos.

¹ Oxidan al carbono y liberan CO₂ a la atmósfera.

FORMAS DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

En el suelo ya una vez transformados los restos vegetales y animales, se le encuentra a la materia orgánica en forma de sustancias húmicas, las que se identifican en base a su comportamiento² frente a la acción de ciertas sustancias reactivas.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR FRACCIÓN HÚMICA

- A la muestra de suelo se le agrega NaOH (Hidróxido de Sodio), logrando que las huminas al ser insolubles se separen de los ácidos fúlvicos y ácidos húmicos (solubles). De esta fase se obtiene humina más minerales que no son solubles en NaOH.
- Para separar los ácidos fúlvicos de los húmicos, se le aplica ácido clorhídrico (ClH) a la sustancia resultante del paso anterior. Los húmicos al ser insolubles en ClH no se disuelven en la sustancia ácida aplicada.
- Por último para saber las fracciones de ácidos húmicos que se tienen en el suelo, se le agrega calcio (Ca^{++}) al componente húmico. Los ácidos húmicos pardos se disolverán en la solución no así los ácidos húmicos grises.

CARACTERÍSTICAS DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS EN LOS SUELOS

- Huminas:** Se le encuentra ligada mayoritariamente a suelos con vegetación de difícil degradación biológica (coníferas sobre todo), se halla retenida a los agregados de la fracción pesada del suelo de manera que no permite rompimiento por agitación mecánica pero si ultrasónica, está constituida por partículas de densidad menor de $1,8 \text{ gr/cm}^3$.
- Ácidos Fúlvicos:** Los ácidos fúlvicos son amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, son fáciles de dispersar en agua y no se precipitan en soluciones ácidas, susceptibles a experimentar floculación en determinadas condiciones de pH y concentración de las soluciones de cationes no alcalinos.
- Ácidos húmicos:** Los ácidos húmicos son sólidos amorfos de color marrón oscuro, son generalmente insolubles en agua y en casi todos los disolventes no polares, pero son fáciles de dispersar en las soluciones acuosas de los hidróxidos y sales básicas de los metales alcalinos, puede experimentar floculación mediante el tratamiento con ácidos o los demás cationes.

PAPEL DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS

La materia orgánica por encima de contenidos del 2% está ligada a la estabilidad de los suelos, al tener un poder aglomerante, sobre todo las sustancias húmicas al unirse a la fracción mineral da permeabilidad al suelo a la vez que le permite la estabilidad. La formación de óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) puede darse en combinación con materia orgánica estabilizando con ello los agregados del suelo.

² Solubilidad o insolubilidad

Por otro lado es importante señalar a la materia orgánica por su papel en la génesis y fertilidad de los suelos.

Tabla 1: Comparación en cuanto a parámetros físicos y químicos.

Parámetro	Ácidos Fúlvicos	Ácidos Húmicos
Incremento en Peso molecular	2.000	300.000
Contenido de Carbono (%)	45	62
Contenido de Oxígeno (%)	48	30
Acidez Intercambiable (%)	500	1.400

Fuente: Modificación propia en base a gráfica de Silva. A sf

INCIDENCIA EN OTRAS PROPIEDADES FÍSICAS

- a) Otorga a los suelos orgánicos el característico color oscuro, lo que le permite absorber mayor radiación solar manteniendo más estable la temperatura y con ello facilitar procesos de formación de suelos y germinación de semilla.
- b) Confiere al suelo mayor capacidad de retención de agua contribuyendo con ello a mayor productividad y a reducir riesgos de inundaciones en las zonas más bajas.
- c) Brinda protección al suelo contra procesos erosivos ya que el humus (en sus distintas fracciones) posee un alto poder aglomerante que protege a las partículas elementales del suelo.
- d) Por su alto poder buffer la materia orgánica protege a los suelos y cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos de la contaminación por plaguicidas y otros contaminantes.
- e) La materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, evita por tanto que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo. La capacidad de cambio de la materia orgánica es de 3 a 5 veces superior a la de las arcillas, es por tanto una buena reserva de nutrientes.
- f) Al producir compuestos orgánicos contribuye a acidificar suelos alcalinos o básicos que requieran de esta enmienda.
- g) Por su carácter ácido, sirve como agente acidificante, lo que contribuye a la descomposición de minerales.
- h) Contribuye al estado de dispersión o floculación del suelo.

C Ejercitación

TRABAJO EN EQUIPO

- 1) En equipos de trabajo conformados por cuatro compañeros, resolvemos las siguientes preguntas:
 - a) ¿Por qué es necesario que conozcamos como se forma y evoluciona el suelo de su parcela?
 - b) ¿Qué papel juegan los árboles en la formación de los suelos?
 - c) ¿Por qué son necesarios los organismos del suelo?
 - d) ¿Cómo influye la pendiente en la formación o destrucción del suelo?.

TRABAJO INDIVIDUAL

- 2) Imagino una parcela agrícola que conozca y en el cuaderno respondo los siguientes interrogantes:
 - a) ¿El terreno es inclinado o plano? ¿Cómo esto ayuda o daña el suelo?
 - b) ¿Existe vegetación en el terreno?
 - c) ¿Qué tipo de vegetación cubre el terreno?
 - d) ¿Dónde espera tener mejor el suelo? ¿en dónde hay vegetación o dónde está desprovista de esta?
 - e) Recuerdo haber observado la presencia de organismos en el suelo y respondo ¿En qué cantidad? ¿De qué tipo hay más? ¿Qué están haciendo allí?
 - f) ¿Qué es un mineral primario?
 - g) Menciono ¿Cuál es el mineral primario que se encuentra más comúnmente en los suelos?
 - h) ¿Cuál es el origen de la fracción mineral de los suelos?
 - i) ¿Qué proceso facilita la formación de la fracción mineral de los suelos?
 - j) ¿Cuáles son los criterios para clasificar los minerales en primarios y secundarios?

- k) ¿En qué fracciones granulométricas se encuentran los minerales primarios? y secundarios?
- l) Menciono los elementos químicos más importantes en la composición de los minerales primarios del suelo.
- m) ¿Cuál es la unidad estructural básica del mismo?
- n) Menciono las características principales de las fracciones físicas de materia orgánica que se obtienen en el laboratorio.
- o) ¿Cómo afectará el balance del carbono el cultivo continuo con laboreo?
- p) ¿De qué elementos químicos está compuesta principalmente la materia orgánica del suelo?
- q) ¿De qué depende el contenido de materia orgánica de un suelo? Para esto tomo en cuenta las entradas y salidas de materia orgánica en el suelo.
- r) De manera breve describo las principales propiedades del suelo sobre las cuales la materia orgánica incide.

EN PLENARIA

1. Socializo a mis compañeros las respuestas y hago los ajustes apropiados según lo orientado por el docente.

D *Aplicación*

TRABAJO EN EQUIPO

1. Nos organizamos en equipos de cuatro personas para realizar el siguiente trabajo de campo:
 - a) Organizamos la visita a una parcela en donde se establezcan de manera habitual cultivos.
 - b) Antes de visitar la parcela elaboramos una guía de preguntas que al menos contenga los siguientes aspectos:
 - Antecedentes del uso de los suelos de la parcela que vaya a investigar.

- Rendimientos productivos antes y ahora.
 - Cambios en cuanto a profundidad y otras características.
 - Efecto que ha tenido el cambio sufrido sobre la economía de la familia propietaria de la parcela.
 - Obtención de muestra de suelo (pedimos autorización al propietario para extraer una muestra de suelo a profundidad de raíces (según cultivo) y hacemos también unos pequeños agujeros preferiblemente circulares en distintos puntos de la parcela a la misma profundidad. Una vez hechos éstos, suministramos agua suficiente hasta enraice de ser posible.
 - Dicha muestra la trasladamos en bolsa.
 - El color que presenta el suelo en distintos puntos de la parcela.
 - Nivel de dificultad que se presenta al introducir pala u otro implemento de labranza en el suelo en distintos puntos de la parcela.
 - ¿Qué figuras logra formar al amasar el suelo previamente humedecido?
 - ¿Qué le permite al suelo lograr esa cohesión?
- c) Buscamos una botella plástica transparente de fondo plano y de forma regular, luego introducimos en ella la muestra de suelo proveniente de la parcela agrícola o pastizal y agregamos agua limpia hasta que sobrepase aproximadamente un tercio del espesor de la muestra.
- d) Posteriormente agitamos la botella hasta lograr una mezcla, la dejamos en reposo 72 horas. Transcurrido este tiempo se formarán unas capas bien definidas; medimos con una regla milimetrada la altura alcanzada por el suelo, luego medimos cada una de las capas que se formaron y anotamos los resultados en nuestro cuaderno.
- e) Con base a los resultados obtenidos, resolvemos los siguientes interrogantes:
- ¿Qué porcentaje de limo existe en su parcela?
 - ¿Qué porcentaje de arcilla posee la muestra?
 - ¿Qué porcentaje de arena hay en la muestra?



Figura. Método de botella
(Dibujo Becker Chavarría L)

- ¿Dónde se infiltra más rápidamente el agua?
- ¿A qué se debe que el agua tarde más tiempo en infiltrarse en algunos de los agujeros que realizó?

TRABAJO INDIVIDUAL

1) Indago con el propietario de la parcela o alguien a cargo lo siguiente:

- a) ¿Qué problemas se presentan en la parcela con respecto al agua en época lluviosa?
- b) ¿Qué problemas se presentan en la parcela con respecto al agua en época seca?
- c) ¿Qué debería llevarse a cabo para poder utilizar estos terrenos en época lluviosa?

2) Con los datos obtenidos en campo, elaboro un informe y lo sustento al profesor.

E *Complementación*

TRABAJO INDIVIDUAL

- 1) Con ayuda de Internet o material bibliográfico de la biblioteca suministrado por el docente. Amplío mis conocimientos en:
 - a) Procedimientos aplicables sin necesidad de un laboratorio para determinar porcentajes de arcilla en una muestra de suelo.
 - b) La relación que existe entre porcentajes de arcilla y la fertilidad de los suelos.

Puedo consultar la información, visitando el sitio www:http/uex.edu.es

BIBLIOGRAFÍA

CHAVARRÍA, F. 2009. Curso de Suelos I. UNAN Managua. 156p.

CHAVARRÍA, F. 2010. Curso de Sostenibilidad II. UNAN Managua.

CHAVARRÍA, D. y TORREZ, M. 2010. Evaluación de macrofauna asociada a SAF Cacao y fragmentos boscosos en municipio de Waslala-RAAN. 2009-2010. 132p.

DURÁN, A; ZAMALVIDE, J; GARCÍA, F y HILL, M. sf. Propiedades físico-químicas de los suelos. 60p.

RUCKS, L; GARCÍA, F; KAPLÁN, A; PONCE DE LEÓN, J y HILL, M. 2004. Propiedades Físicas de los Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 78p.

SILVA, A. sf. La materia orgánica del suelo.

Universidad de Extremadura. 2005. Edafología para Ciencias Ambientales. Área de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias.



UNIDAD 2

LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Reconocer la importancia de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

- Relaciona las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para proponer iniciativas encaminadas hacia su protección y conservación.

TRABAJO EN EQUIPO

1. Nos organizamos en equipos de cuatro personas para desarrollar las actividades propuestas, elegimos un relator, un controlador de tiempo y un comunicador.

a. Hacemos lectura del siguiente párrafo, lo interpretamos y lo analizamos.

Para que pueda existir la vida sobre la tierra es de vital importancia, la existencia del agua, y que esta se encuentre en cantidad suficiente y sea de buena calidad.

El agua constituye, por medio de las disoluciones del suelo, el elemento esencial de la nutrición de las plantas y generalmente es el compuesto más abundante en la planta viva, llegando a representar hasta un 90%, proporcionando turgencia y rigidez a los tejidos y los órganos. Del total de agua solo un 1.5% queda en el vegetal para formar parte de las células y tejidos.

b. Respondemos las siguientes preguntas relacionadas con la lectura anterior.

1. ¿Por qué es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de agua?
2. En su comunidad ¿Qué tipos de problemas existen con relación al agua?
3. ¿Qué problemas se presentan con los suelos?
4. ¿Por qué se han presentado eventos de deslizamientos?
5. ¿Se han dado casos de inundaciones en terrenos donde antes no los había?
6. Si compara dos muestras de suelos con igual volumen pero una con mayor contenido de materia orgánica y un suelo arcilloso ¿Cuál es más pesado? ¿Por qué?
7. ¿Qué es la materia orgánica?
8. ¿Por qué es importante que los suelos contengan materia orgánica?
9. ¿Qué podríamos hacer para reponer o mantener los niveles de materia orgánica en los suelos?
10. ¿Qué factores pudieran determinar las propiedades biológicas?

11. ¿Cómo es la calidad biológica de los suelos de nuestras parcelas?

12. ¿Qué podríamos hacer todos nosotros para mantener o mejorar las propiedades biológicas de nuestros suelos?

EN PLENARIO

1. Socializamos la actividad desarrollada teniendo en cuenta las siguientes orientaciones:

- a) La persona que haya sido seleccionada como comunicador expondrá ante el plenario los aportes del grupo.
- b) El relator y los integrantes del grupo que exponga responderán inquietudes del plenario.
- c) Los integrantes del grupo toman apuntes sobre las exposiciones de los grupos restantes de la clase.
- d) El coordinador del grupo solicita al docente la valoración del trabajo presentado. El docente valora el trabajo de los estudiantes y realimenta sus aprendizajes si es necesario.

B *Fundamentación Científica*

TRABAJO EN EQUIPO

1. Organizados en equipos leemos la fundamentación, ponemos atención y tomamos nota de las ideas importantes.

1. BALANCE DEL AGUA

La cantidad de agua que se almacena en el suelo de su sitio puede calcularse analizando el balance del agua de su zona. El contenido del agua de su suelo varía según el balance entre el agua acumulada debido a la precipitación y el agua perdida por la evaporación y la transpiración.

PAPEL DEL AGUA EN LAS PLANTAS

¿PORQUÉ ESTUDIAR EL BALANCE DE AGUA?

A fin de determinar qué especies vegetales podrían establecerse allí y en que momento requerirá se le aplique riego debido a las condiciones del clima, tipo de suelo, cobertura del suelo y otros factores.

EL AGUA JUEGA LAS SIGUIENTES FUNCIONES EN LAS PLANTAS:

- Constituye del 80 al 90% del protoplasma en plantas herbáceas y entre 50 a 60% en árboles.
- Sirve como solvente y transporte.
- Constituye el medio en el que actúan las reacciones.
- Facilita la fotosíntesis y reacciones de hidrólisis.
- Otorga turgencia a las células.
- Facilita se dé germinación y emergencia.
- Contribuye al crecimiento vegetativo.
- Favorece el periodo reproductivo.
- Ayuda a que se dé maduración de frutos y semillas.

PROCESOS QUE INTERVIENEN EN EL BALANCE DE AGUA

EVAPOTRANSPIRACIÓN:

Se denomina así a las cantidades combinadas de agua que se pierden en un sitio debido a la combinación de la evaporación y la transpiración.

Se le denomina evapotranspiración potencial (Etp) a la máxima pérdida que se alcanzaría si el agua siempre estuviera disponible.

¿Qué es la transpiración?

La transpiración es el proceso en el cual la planta toma el agua del suelo por medio del sistema radicular, la hace circular a través de la planta hacia las hojas y la libera en la atmósfera en forma de vapor.

La transpiración se da mayormente en el área foliar aunque una pequeña porción también se da en los tallos de plantas jóvenes. El proceso de transpiración se da por lo general durante las horas del día, y en menor proporción durante la noche (5 a 10%).

¿QUÉ FACTORES CONTRIBUYEN A QUE SE DÉ LA TRANSPIRACIÓN?

Existe una diversa gama de factores, uno de ellos es la humedad disponible del suelo, así como la clase y densidad del crecimiento de la planta, la cantidad de luz solar, la temperatura, la fertilidad del suelo y la velocidad del viento. En días soleados y con incidencia de vientos, la transpiración supera a la humedad que el sistema radicular extrae del suelo, provocando que las plantas se marchiten.

¿Qué es la evaporación?

Consiste en la transferencia del agua que se encuentra en la superficie del suelo a la atmósfera. Esta transferencia se da en forma de vapor.

¿QUÉ FACTORES CONTRIBUYEN A QUE SE DÉ LA EVAPORACIÓN?

Sobresalen factores como: el tipo de superficie (textura) y la diferencia en la presión de vapor según la temperatura, el viento y la presión atmosférica. Para el cálculo del agua de consumo se incluye tanto la evaporación de la superficie del suelo como el agua interceptada por el follaje.

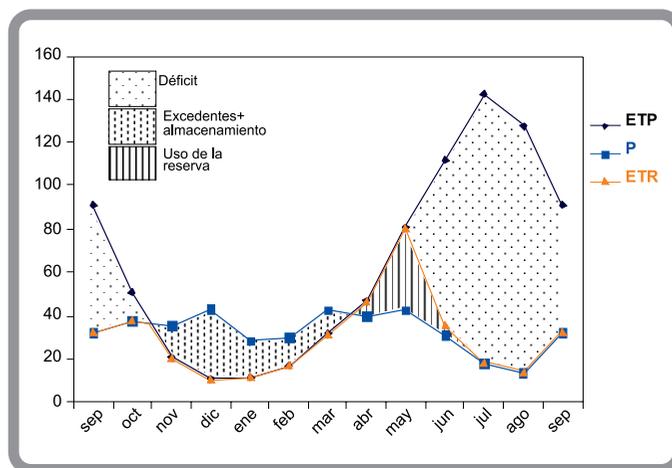
En terrenos de riego, las frecuentes aplicaciones superficiales influyen en la pérdida de agua por evaporación. Por lo que se aconseja que se hagan menos frecuentes las aplicaciones pero que éstas sean más fuertes. Con esto se favorece que el agua penetre a mayor profundidad en el suelo y que sea por lo mismo mayormente aprovechada por la planta.

En los pastizales se reduce la evaporación no solamente porque las plantas transpiran en mayor proporción sino porque sombrean el terreno.

La pérdida por evaporación es más alta en suelos en los que el proceso capilar del agua a la superficie es rápido. La evaporación es baja en los suelos en los que el agua se infiltra con facilidad. El agua ocupa parte de los poros que existen en el suelo. La microporosidad, incluida la porosidad textural, es la responsable de la retención del agua; y la macroporosidad, que incluye la porosidad estructural, es la responsable del drenaje, de la circulación del agua en general y parcialmente, de la retención del agua en determinados suelos.

Los vientos fuertes, altas temperaturas y bajo grado de humedad provocan por lo general un alto grado de evaporación cuando hay suficiente humedad en la superficie del terreno.

El grado de evaporación entre uno y otro riego depende, en cierto modo de la labranza, del cultivo y de la cobertura del cultivo con paja y estiércol así como la textura del suelo, las condiciones climáticas, tipo de cultivo, grado de crecimiento, método, frecuencia y profundidad del riego. Al crecer la planta aumenta el sombreado y disminuye progresivamente el grado de evaporación. (Chavarría, F. 2008)



Gráfica 1. Balance hídrico

(http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/Pneta_SCS_fundam.pdf)

TIPOS DE AGUA SEGÚN SU GRADO DE ADHESIÓN A LAS PARTÍCULAS DE SUELO

El agua contenida en el suelo puede estar presente de las siguientes maneras:

- a) **Agua gravitacional o libre:** Se llama así al agua que se mueve a causa de la gravedad, escurriendo por drenaje a través de los grandes poros que la contienen, juntamente con las sustancias en ella disueltas, pasando a través de los distintos horizontes hasta encontrar las aguas subterráneas. Esto constituye el drenaje del suelo por el cual se elimina este exceso de agua, de modo que los macroporos queden nuevamente ocupados por aire, siendo de la mayor importancia para la aireación del suelo. En caso de que esto no se produzca se puede producir la anegación del suelo, como ocurre en los terrenos pantanosos.

El agua gravitacional, libre o de drenaje, es la que se halla por encima de la capacidad de campo, retenida sólo por tensiones menores de 0,1 atmósferas.

- b) **Agua capilar:** Es el agua que ocupa los espacios capilares del suelo. Esa agua puede ser eliminada desecando la muestra al aire, o hasta cierto punto por la absorción de las plantas, pero persiste en el suelo a pesar de la fuerza de la gravedad. Esta forma de agua se encuentra en el suelo como una capa o película más o menos ancha que rodea las partículas, película que irá adelgazando a medida que la planta la vaya solicitando.

La tensión superficial externa de la película está entre 0,1 y 0,5 atmósferas. Lo que depende de la textura del suelo, pudiéndose aceptar un valor medio de 0,33 atmósferas.

El agua capilar constituye el agua presente en el suelo que queda retenida entre 0,1 y 31 atmósferas, es decir, en un grado menor que la higroscópica.

- c) **Agua higroscópica:** Se denomina higroscopicidad del suelo a la propiedad de absorber mayor o menor cantidad de agua atmosférica mediante retención catiónica por parte

del complejo coloidal arcillo-húmico dado el enjambre iónico que rodea la partícula, con la consiguiente atracción del dipolo agua.

El agua higroscópica corresponde a la adherida por el coeficiente higroscópico, es decir, con una tensión entre 31 y 10.000 atmósferas.

- d) **Agua de constitución o químicamente combinada:** Es generalmente agua de hidratación. Por estar íntimamente ligada al soporte mineral sólo puede ser eliminada con altas temperaturas, muy por encima de la temperatura de ebullición del agua.

Para efectos agronómicos se le conocerá al agua contenida en los suelos, con los siguientes términos:

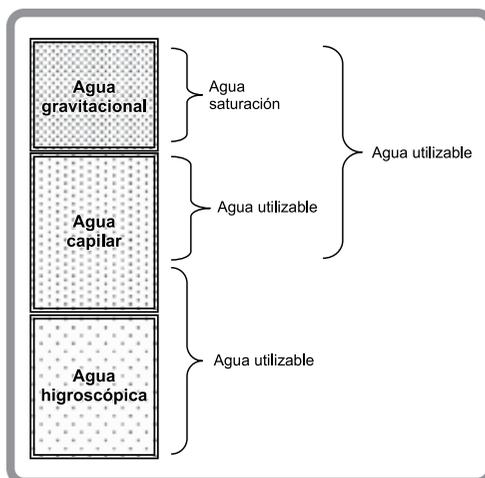
- *Máxima capacidad de retención de humedad:* Es cuando el agua de precipitación o aplicada por el riego entra en el suelo, desplazando al aire y ocupando su espacio en los poros (macro o micro). Con esto se logra saturar el suelo.
- *Capacidad de campo:* Al concluir el suministro de agua, la humedad retenida se desprende de los macroporos, quedando retenida en el suelo solo la humedad contenida por los microporos.

Cuando en la planta aparecen signos de marchitez se dice entonces que el suelo está en la situación de coeficiente de marchitez o humedad crítica, que es cuando el agua está retenida con una tensión superficial de 15 atmósferas.

Al persistir el periodo de desecación de suelo, dará paso al coeficiente higroscópico alcanzando una tensión de 30,6 atmósferas.

- *Agua no aprovechable:* Es cuando el espesor de la película de agua disminuye progresivamente, hasta alcanzar tensión aumenta desde 31 hasta 10.000 atmósferas.

Dentro del agua no aprovechable se encuentra también el agua de constitución que alcanza hasta las 30.000 atmósferas.



Gráfica 2: Esquema de agua según su aprovechamiento (Fuente: Modificación propia con base a xxx)

¿CÓMO SE PUEDE DETERMINAR ESTOS TIPOS DE AGUA?

- **Agua libre o gravitacional:** Del total de agua que llega al suelo, una parte saturará los espacios porosos y al no haber más espacios se esparcirá por encima de la superficie del suelo, escurriendo según la pendiente o elevándose en caso de superficies planas. Esta agua se calcula por medio de determinación de escorrentía o bien por la altura de la lámina de agua sobre la superficie del terreno.

Se sumerge cilindro conteniendo muestra de suelo dentro de recipiente conteniendo agua. La muestra se sumerge hasta que esta enrase sin llegar a saturarla. Luego se deja durante 72 horas sobre un tamiz para que escurra el agua libre o gravitacional.

- **Agua capilar:** El agua que quede de la prueba anterior es la sumatoria de la capilar más la higroscópica más agua de constitución.
- **Agua higroscópica:** Esta agua higroscópica está presente en una muestra desecada a alta temperatura ambiente, pero se elimina por desecación en estufa durante varias horas entre 105°-110°.

Si la determinación la queremos con gran exactitud se debe mantener la muestra, antes de secarla en la estufa, durante un tiempo adecuado en atmósfera de humedad relativa del 98,2 %, lo que se consigue en desecador con H_2SO_4 al 3,3%.

Para calcular el coeficiente higroscópico o de higroscopicidad se divide la pérdida de peso por el peso de muestra desecada en la estufa y se multiplica por cien.

La forma más sencilla es expresarla como porcentaje de peso o también conocida como humedad gravimétrica. El peso seco de la muestra se consigue exponiendo a 105° C. en un horno durante 24 horas. El peso del agua será igual a la diferencia entre peso húmedo del suelo y su peso una vez seco. Para calcular el porcentaje de peso de la humedad, se aplica la ecuación siguiente:

$$H_p (\%) = (\text{Peso de agua en la muestra} / \text{Peso de la muestra seca}) \times 100$$

La otra manera más frecuente por su utilidad es expresar el contenido de agua en el suelo como porcentaje en volumen (HV%) o humedad volumétrica. Este se calcula aplicando la fórmula:

$$H_v (\%) = (\text{Volumen de agua en la muestra} / \text{Volumen natural de la muestra}) \times 100$$

Una forma más ágil de determinar la humedad volumétrica (Hv) del suelo, es a partir de la humedad gravimétrica (Hp) y la densidad aparente (Dap) del suelo. La fórmula para su cálculo es la siguiente:

$$H_p (\%) = (\text{Volumen de agua en la muestra} \times \text{densidad del agua}) / (\text{Volumen natural de la muestra} \times \text{densidad del suelo}) \times 100$$

Existen otras formas más para calcular la humedad del suelo. Una de ellas es expresarla como una altura dada en milímetros (mm). La ventaja de este método es que de esta manera el contenido de agua queda expresado en la misma unidad en que se mide habitualmente la lluvia.

1 mm de columna de agua es igual a 1 litro de agua en un metro cuadrado de terreno.

¿CÓMO SE PUEDE DETERMINAR LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN LOS SUELOS?

Existen dos métodos clásicos para determinar la velocidad de infiltración del suelo. Ellos son:

- 1) El método del cilindro infiltrómetro, utilizado para verificar el comportamiento del suelo donde se utilizan métodos de riego por tendido, bordes, aspersion y goteo.
- 2) El método del surco infiltrómetro, utilizado en los casos en que el cultivo será regado por surcos rectos o sus variantes.

Tabla 1: Relación entre textura y velocidad de infiltración

Textura	Velocidad de infiltración (mm/hr)
Arcilloso	< 5
Franco-arcilloso	5-10
Franco	10-20
Franco-arenoso	20-30
Arenoso	> 30

¿QUÉ PROBLEMAS OCASIONA EN LAS PLANTAS EL EXCESO DE AGUA?

Cuando el agua se encuentra en exceso en los suelos, se presentan entre otros problemas:

- El oxígeno se difunde 10.000 veces más lentamente en agua que en aire. Por lo que en la planta se daría respiración anaeróbica.
- Baja eficiencia, por la producción de sustancias tóxicas.
- Se enlentece el metabolismo activo (absorción de agua y nutrientes).
- Mayor riesgo de incidencia de algunas enfermedades en el suelo.
- Pérdidas de N por volatilización y lavado.

- Reducción de Fe y Mn que pasan a formas más disponibles causando toxicidad.
- Reducción de la mineralización de la materia orgánica del suelo.
- Conversión de NH_3 a NO_3^- , por lo que se da deficiencia de N.

2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Por el desconocimiento de las propiedades físicas que posee un suelo muchas veces se le expone a su degradación y con ello la pérdida de sus principales funciones ecosistémicas y su capacidad productiva. Con ello se expone a sus propietarios como a las poblaciones que dependen de la agricultura a escasez de alimentos, inundaciones, sequías, deslizamientos de suelos, licuefacción y otros daños que ponen en peligro la existencia de la vida humana y propiedades.

Por lo antes expuesto es que se hace imprescindible conocer los suelos y aprovecharlos según sus capacidades.

Es de suma importancia conocer las propiedades físicas de un suelo a fin de dispensarle el manejo más apropiado y así producir de una manera sustentable.

Marsh (1978), siendo citado por Chavarría, F. (2007), señala al suelo como un medio complejo, en constante cambio y en intrínseca relación con el aire, las rocas, el relieve, la flora, la fauna y el agua y otros factores climáticos. Todo esto tiende a que en los suelos se den características específicas tales como la textura, la estructura, la densidad, porosidad, la profundidad, pedregosidad, drenaje, el color, entre tantas otras. Las que a partir de ahora llamaremos propiedades físicas.

TEXTURA

Una de las propiedades físicas de importancia es la textura, la cual expresa la distribución del tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo.

Por medio de la textura de un suelo se pueden estimar ciertos atributos como su capacidad productiva, su comportamiento mecánico, capacidad de retención de agua, capacidad portante, velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de usos contrastándola con la profundidad y pendiente, etc.

¿CÓMO SE PUEDE DETERMINAR LA TEXTURA DE UN SUELO?

La determinación de la distribución de las partículas de diferentes tamaños en los suelos se llama análisis mecánico. Existen varias técnicas para determinar el porcentaje de distribución de las partículas según su tamaño, pero la mayor parte de ellas suponen la completa dispersión de las partículas en agua (por lo general conteniendo un detergente),

separación en categorías por tamaños y cálculos de los porcentajes de cada categoría según su peso. Estos métodos se basan en el principio de las partículas suspendidas en el agua tienden a sedimentarse en relación con su tamaño. Las fracciones de arena se sedimentan muy rápidamente y se separan en grupos arbitrarios por medio del cernido. Los métodos del hidrómetro y de la pipeta, son los más ampliamente utilizados para determinar las fracciones de limo y arcilla. El método del hidrómetro es de gran utilidad en los trabajos sobre suelos forestales porque es relativamente rápido y requiere un mínimo de equipo, además de ser razonablemente exacto.

Debido a que en la mayoría de casos se deben tomar decisiones en campo, en donde no se cuenta con equipos de laboratorio, se puede utilizar método del tacto, que consiste en el siguiente procedimiento:

1. Tome una cantidad de muestra que pueda contener en la palma de su mano izquierda (o derecha si usted es zurdo o izquierdo).
2. Humedezca hasta el punto de adherencia, mezclando con ayuda de los dedos índice y medio.
3. Intente hacer un cilindro de 3 milímetros de diámetro.

Si no se puede hacer, la muestra tiene más del 80% de arena, no es plástica ni se pega cuando está húmeda.

4. Si el cilindro de 3 mm de diámetro no fue posible lograrlo, entonces ensayemos con uno de 1 mm de diámetro.
5. Si no se puede lograr formar cilindro de 1 mm de diámetro.

La muestra tiene entre 65 y 80 % de arena.

6. Si el cilindro de 1 mm es posible, intentemos formar un anillo con el cilindro de 3 mm y 10 centímetros de longitud.

Si el anillo se agrieta, la muestra tiene entre un 40 y un 65% de arena.

7. Si el anillo con diámetro de 3 mm es posible, intenta formar un anillo con el de 1 mm.

Si el anillo se agrieta, la muestra tiene un predominio de limo; si el anillo es posible, en la muestra predomina la arcilla.

8. Si predomina el limo, es untuosa. Al humedecerla no es plástica y cuando se seca no se endurece tanto como la arcilla.

La arcilla en seco forma agregados muy duros que no se rompen entre el pulgar y el índice. Cuando está húmeda es muy plástica, adherente entre los dedos.

Otro método que puede ser utilizado por su sencillez en la aplicación y confiabilidad en el uso es el uso de matriz, en la cual se escriben los datos obtenidos con el método antes descrito.

Condición	Arenoso	Ar-limoso	Limoso	Arcilloso
Se forma filamento de 3 mm	No	Si	Si	Si
El filamento mide 10 o más centímetros y además puede enrollarse hasta formar anillos sin romperse	No	No	No	Si
Puede formarse fácilmente filamento de 1 mm y 10 cm de largo	No	No	Si	Si

ESTRUCTURA

Esta propiedad nos permite conocer como están formados los agregados del suelo, es decir como se organizan las arcillas, el limo y las arenas para formar el suelo. Para determinar la estructura es necesario estudiar tres parámetros; siendo éstos: la forma, el grado de desarrollo y tamaño del agregado.

Existen numerosas fuentes que indican como clasificar la estructura de un suelo atendiendo a la forma de los agregados, pero en este caso trabajaremos con lo planteado por la UEX (2005) citando a FAO (1977). Atendiendo a la clasificación planteada se establece lo siguiente:

- a) Estructura particular: Aunque realmente no se trata de una estructura propiamente dicha se clasifica como tal solo para mantener una unidad de definición. Esta clasificación se presenta cuando sólo hay arena y la floculación es imposible y las partículas quedan separadas. Se encuentra sólo en el horizonte E.
- b) Estructura masiva: Propia de materiales que presentan una masa consistente, es decir que no presenta grietas y no se puede en ella diferenciar los agregados. Propia de materiales sin edafizarse pero que poseen coloides arcillosos derivados de su origen. Se encuentra en el horizonte C.
- c) Estructura fibrosa: Al igual que en el primer caso no cumple criterios de estructura. Se encuentra constituida de fibras orgánicas con incipiente proceso de descomposición; el único rasgo de organización es el entrelazamiento de las fibras. Propia de los horizontes H y O.
- d) Estructura grumosa o migajosa: Es una de las más recomendadas para la agricultura puesto que sus agregados son pequeños, muy porosos y redondeados, lo que hace que

- no encajen unos con otros y dejen huecos muy favorables para la penetración de las raíces. Propia de horizontes A, con abundante materia orgánica.
- e) Estructura granular: Al igual que la anterior es de las más recomendadas para la agricultura. Sus agregados son poco o nada porosos por contener más arcilla que materia orgánica en el proceso de floculación. Es propia de horizontes A, de suelos con bajo contenido de materia orgánica.
 - f) Estructura subpoliédrica o subangular: Los agregados de esta estructura presentan forma poliédrica equidimensional con las aristas y los vértices redondeados. Propia de horizontes A muy pobres en materia orgánica pero también se encuentra en la parte superior de los horizontes B.
 - g) Estructura poliédrica o angular: Su forma recuerda a la de un poliedro equidimensional con aristas y vértices afilados y punzantes. Los agregados encajan perfectamente unos en otros y dejan un sistema de grietas inclinadas. Es típica de horizontes B con contenidos arcillosos medios o con arcillas poco expansibles. Representante genuina de las estructuras de fragmentación.
 - h) Estructura prismática: Es muy parecida a la poliédrica pero la dimensión vertical predomina sobre la horizontal. Cuando es muy gruesa constituye una transición a la estructura masiva. Es propia de los horizontes B.
 - i) Estructura columnar: Constituye en realidad una variación de la estructura prismática que se produce cuando hay una dispersión fuerte de la arcilla provocada por altas concentraciones de Na. Las arcillas sódicas al secarse forman una masa muy compacta que se resquebraja en grandes prismas muy duros e impenetrables por el agua; el agua cargada de coloides fluye fundamentalmente por las grietas que quedan entre los agregados y esto hace que las partículas en suspensión erosionen la parte alta de los agregados y le den un aspecto de cúpula. En estas condiciones también se dispersa la materia orgánica, por lo que esa suspensión impregna la superficie de los agregados que quedan revestidas de oscuro y se les conoce como columnas enlutadas. Es frecuente que las sales queden impregnando la parte superior y cristalicen al secar, lo que provoca una cubierta blanca. Es propia de los horizontes B de suelos salinos sódicos.
 - j) Estructura esquistosa o laminar: Similar a las anteriores con la diferencia que la dimensión vertical es mucho menor que la horizontal. Es propia de horizontes C.
 - k) Estructura escamosa: Posee forma de lámina delgada y curvada con aspecto cóncavo. Se presenta en zonas anegadas que luego se secan. Al secarse, las partículas gruesas no cambian de volumen ni forma, mientras que la fracción fina y coloidal se contrae. Resulta ser una estructura temporal ya que al momento de llover o aplicarse riego la estructura regresa a su forma original.

DENSIDAD

La densidad se define como la masa por unidad de volumen (M/V).

Se puede distinguir dos tipos de densidades de acuerdo a la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los espacios intersticiales entre los poros de los agregados del suelo. Los tipos de densidades por lo tanto serán:

a) Densidad real: Constituye la densidad de la fase sólida del suelo. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico.

Los carbonatos presentan una densidad algo menor así como la materia orgánica, que puede llegar a valores de 0.1; debido a lo cual en horizontes muy orgánicos o carbonatados se debe reconsiderar el valor de 2.65. En el caso de los orgánicos puede calcularse aplicando los valores citados a los contenidos relativos de fracción mineral y orgánica.

b) Densidad aparente: Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado.

¿CÓMO PUEDE DETERMINARSE LA DENSIDAD APARENTE?

En base a lo planteado por Chavarría, F. (2007) citando a UEX (2005), el método para determinar densidad aparente del suelo, consiste en extraer muestra de suelo sin perturbar con cilindro de volumen conocido (cercano a 100 cc), se hace recorte de los excedentes del suelo en los extremos y con uso de herramienta apropiada se extrae la muestra del cilindro, teniendo cuidado de no perder ningún gramo de suelo se coloca la muestra en un contenedor para luego someterla a temperatura de 105° C. hasta alcanzar peso constante. Luego se pesa. La densidad resulta de la relación entre el peso seco y el volumen del cilindro.

¿CÓMO INTERPRETAR LA DENSIDAD APARENTE?

Con el valor obtenido podemos establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la forma habitual de medir los parámetros del suelo, y las masa/superficie que son las utilizadas en la aplicación de fertilizantes o enmiendas para corregir deficiencias o problemas de acidez.

A fin de tomar decisiones de adicionar un elemento que se halla encontrado deficitario en análisis de suelo, hemos de conocer la masa de suelo que corresponde a una superficie definida para un espesor concreto. Usualmente se utiliza como unidad de superficie la hectárea y como profundidad la correspondiente a la capa arable que se establece como promedio en 30 cm. De este modo, la masa de una hectárea podemos calcularla multiplicando la densidad aparente por su volumen, que vendría expresado por el producto del espesor deseado en metros multiplicado por 10.000 que es su superficie en

metros cuadrados. Una vez conocido ese valor ya es posible aplicar cualquier relación masa/masa obtenida en la determinación del parámetro a corregir, sin más que adecuar convenientemente las unidades.

POROSIDAD

La porosidad se define por el volumen que ocupan los poros (y este se encuentra ocupado por gases y líquidos) con relación al volumen total ocupado por el suelo. La porosidad está inversamente relacionada con la densidad del suelo. (Hogson, 1985)

El tamaño de los poros y por lo tanto la porosidad del suelo, depende del tamaño de las partículas del suelo y del tamaño de los agregados de partículas.

Hogson (1985) definió cinco clases de porosidad en los suelos, considerando los poros menores de 60 μm y el % del volumen del suelo ocupado.

Tabla 2: Clasificación de la porosidad (Fuente: Hogson, 1985)

Clase	% ocupado por poros
Muy débilmente poroso	< 5,0
Débilmente poroso	5,0 - 9,9
Moderadamente poroso	10,0 - 14,9
Muy poroso	15,0 - 20,0
Extremadamente poroso	> 20,0

¿CÓMO PUEDE OBTENERSE LA POROSIDAD DE UN SUELO?

Según UEX (2005), para determinar porosidad se utilizan métodos indirectos como la permeabilidad, la relación entre las dos formas de determinar la densidad o la retención de agua. Todos estos métodos a pesar de que nos brindan información acerca del volumen total de poros, de la existencia de macroporos continuos o del valor de la microporosidad. No nos permite conocer la proporción en que se distribuyen los poros, ni su forma, ni su orientación. Un método más correcto por lo tanto es la observación de la micromorfología, acompañada de una correcta micromorfometría.

PROFUNDIDAD

La profundidad de un suelo está expresada por el espesor en centímetros del suelo hasta el lecho de roca, en unos casos, o hasta el estrato u horizonte cementado, en otros.

La profundidad es un factor determinante del desarrollo y productividad de los cultivos, al condicionar el desarrollo radicular y el volumen de agua disponible para las plantas.

En base a clasificación de la FAO, (1976a) y citada por Chavarría, F (2007), la profundidad efectiva del suelo que puede trabajarse con máquina o manualmente, se clasifica a la profundidad en cuatro clases. Siendo estas las siguientes:

Tabla 3: Clasificación de profundidad de suelos.

Profundidad	Clasificación
< 20 cm	Muy someros
20-50 cm	Someros.
50-90 cm	Moderadamente profundos
> 90 cm	Profundos.

PEDREGOSIDAD

La pedregosidad está definida por la proporción relativa de piedras gruesas (de 25 cm de diámetro medio) que se encuentran dentro o en la superficie del suelo.

Según Soil Survey Staff del U.S.D.A (1951) la pedregosidad de los suelos con fines de aprovechamiento agrario se clasifica en seis clases fundamentales, las que se describen a continuación:

Tabla 4: Clasificación de pedregosidad superficial

Clase	Porcentaje cubierto
Clase 0:	< 0,01
Clase 1:	0,01-1
Clase 2:	1-3
Clase 3:	3-15
Clase 4:	15-90
Clase 5:	> 90

PROPORCIÓN DE AFLORAMIENTOS ROCOSOS

La proporción de afloramientos rocosos se refiere a la proporción relativa de la superficie del suelo cubierto por roca firme en forma continua.

Clasificación de la proporción de afloramientos rocosos

- Clase 0: Porcentaje de afloramientos rocosos superficiales inferior al 2% del área. No dificulta el laboreo del suelo.
- Clase 1: 2-10% de recubrimiento superficial. Interfiere, pero no impide el cultivo a escarda.
- Clase 2: Impracticable el cultivo a escarda; 10-25% de recubrimiento de los afloramientos rocosos.
- Clase 3: Impide el uso de maquinaria, excepto la muy liviana; 25-50% de recubrimiento superficial.

- Clase 4: Hace imposible el uso de maquinaria. Recubrimiento superficial del 50-90%.
- Clase 5: Suelos en los que más del 90% de la superficie está cubierta por afloramientos rocosos.

DRENAJE INTERNO

El drenaje interno del suelo está referido a la evacuación de forma natural del exceso de agua en el interior del suelo.

Se distinguen dos tipos de drenaje; siendo estos el drenaje superficial, que interesa a la capa de suelo propiamente dicha y el drenaje profundo, que interesa al sustrato, a veces muy profundamente, e influye directamente en la localización y capacidad de los acuíferos de agua subterránea.

Según Brigg (1977), citado por Chavarría, F (2007) la clasificación del drenaje del suelo se puede medir:

Tabla 5: Pedregosidad de los suelos

Tipo de drenaje	Condiciones de Drenaje
Libre	No existe acumulación de agua en los primeros 80 cm, excepto durante los 4 primeros días tras una fuerte lluvia
Moderado	Encharcamiento por encima de los 60 cm durante un período inferior a un mes
Imperfecto	Encharcamiento a una profundidad menor de 60 cm de forma continua durante más de un mes
Pobre	Encharcamiento durante largos períodos. Incluso en la época seca
Muy pobre	Encharcamiento casi continuo

PERMEABILIDAD

Se refiere a la capacidad de los suelos para dejar fluir o transmitir agua o aire a través de él. La importancia de la permeabilidad radica en la determinación del potencial del suelo en actividades tales como fosas sépticas (peligro de infiltración de contaminantes hacia las capas freáticas), respuestas de drenaje del suelo y capacidad de regadío.

La permeabilidad se mide en términos de la velocidad del paso de agua a través de una unidad de sección transversal de suelo saturado de humedad en una unidad de tiempo.

3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS

La agricultura desde su aparición se basa en la explotación del suelo. En muchos lugares por el mal uso que se le ha dado a los suelos, se ha perdido su fertilidad o bien lo han contaminado de manera que ahora atraviesan serios problemas de pobreza y hambre. Situación que los hace propensos a enfermedades, a la pérdida de autoestima, a la violencia, a la dependencia de otros, entre tantas consecuencias. Los suelos para reponer sus minerales requieren de las arcillas y de la materia orgánica. La materia orgánica se puede reponer. En cambio la arcilla proviene de la meteorización tanto física como química de las rocas.

La materia orgánica constituyente del suelo tiene su origen en restos vegetales y animales que se depositan sobre los suelos, que luego de varios procesos se incorporan. Generalmente la materia orgánica fresca es la que compone los horizontes o capas del suelo denominados H y O.

PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS

Las propiedades químicas de los suelos, están determinadas principalmente por la materia orgánica y las arcillas, por ser éstos las fuentes principales aportadoras de nutrientes.

Sánchez, B.; Ruiz, M. y Ríos, M.M. (1992) citando a Schnitzer (1991) define a la materia orgánica presente en el suelo como una “mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus restos en descomposición”. La materia orgánica cualquiera sea su origen, es junto a las arcillas los elementos esenciales para que se den una serie de aportes de nutrientes en los suelos. La relación carbono/nitrógeno del suelo desde el punto de vista químico, constituye un índice de gran utilidad en la interpretación de la calidad de la materia orgánica respecto a su fertilidad.

En la tabla siguiente se muestra las principales categorías de acuerdo a la relación C/N.

Tabla 6: Relación C/N según calidad de materia orgánica.

Calidad de la materia orgánica	C/N
Muy Buena	7-8
Buena	8-12
Mediana	12-15
Deficiente	15-20
Mala	20-30
Muy Mala	30-50

Fuente: (Schnitzer 1991, citado por Sánchez, B. et al (1992)

PH

El pH indica el grado de acidez de la solución del suelo, pero no la acidez total del suelo. El pH debido a la influencia que tiene sobre el desarrollo de las plantas y la fauna del suelo, incide además en la velocidad y calidad de los procesos de humificación y mineralización así como en el estado de determinados nutrientes.

En los suelos los hidrogeniones se encuentran tanto en la solución, como en el complejo de cambio, dando origen a los dos tipos de acidez conocidas; la activa o real (en solución) y la acidez de cambio o de reserva (para los adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan H^+ de la solución se liberan otros tantos H^+ adsorbidos. Como consecuencia el suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier modificación de su pH, está fuertemente tamponado.

En base a USDA (Soil Survey Staff, 1965), la acidez de los suelos se clasifica según sus valores en las categorías que se citan en la tabla 7, que se presenta a continuación:

Tabla 7: Clasificación de acidez del suelo

pH de solución del suelo	Categoría
Menor de 4	Suelo extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Suelos muy fuertemente ácidos
5.1 – 5.5	Suelos fuertemente ácidos
5.6 – 6.0	Suelos medianamente ácidos
6.1 – 6.5	Suelos ligeramente ácidos
6.6 – 7.3	Suelos neutros
7.4 – 7.8	Suelos medianamente básicos
7.9 – 8.4	Suelos moderadamente básicos
8.5 – 9.0	Suelos fuertemente básicos
Mayor 9.1	Suelos muy fuertemente básicos

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE SABER EL PH DE UN SUELO?

El pH de un suelo influye en la mayoría de las reacciones de los suelos. Entre otras influencias se puede mencionar:

- Incide sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.
- Un pH neutro es el mejor para las propiedades físicas de los suelos.
- A pH muy ácido se da intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable.
- A pH alcalino, la arcilla se dispersa, destruyéndose la estructura, dando origen a malas condiciones físicas.

- El pH influye la asimilación de nutrientes del suelo pudiendo bloquear cuando el pH es ácido o bien cuando es alcalino según el tipo de nutriente.
- pH entre 6 y 7,5 resulta ser el mejor rango para el buen desarrollo de las plantas.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ACIDEZ DE LOS SUELOS

Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos, fundamentalmente:

- Naturaleza del material original: Según que la roca sea de reacción ácida o básica.
- Factor biótico: Los residuos de la actividad orgánica son de naturaleza ácida.
- Precipitaciones: Tienden a acidificar al suelo y desaturarlo al intercambiar los H^+ del agua de lluvia por los Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ de los cambiadores.
- Complejo adsorbente: Según que está saturado con cationes de reacción básica (Ca^{++} , Mg^{++} ...) o de reacción ácida (H^+ o Al^{+++}). También dependiendo de la naturaleza del cambiador variará la facilidad de liberar los iones absorbidos.

CAMBIO IÓNICO

El cambio iónico se define como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas fases.

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

La Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) es la más importante, y más conocida.

En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes. Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica.

Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son:

- Sustituciones atómicas dentro de la red.
- Existencia de bordes (superficies descompensadas).
- Disociación de los OH de las capas basales.

En cuanto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios.

- Tamaño de las partículas: cuanto más pequeña sea la partícula del material, más grande será la Capacidad de Intercambio.
- Naturaleza de las partículas: La composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes

La capacidad de Intercambio es variable, en los minerales o compuestos del suelo. En la tabla siguiente se señalan los principales materiales y sus valores de CIC.

Tabla 8: Valores de CIC según material.

Tipo de material	CIC, meq/100g
Cuarzo y feldespatos	1-2
Óxidos e hidróx. Fe y Al	4
Caolinita	3-15
Ilita y clorita	10-40
Montmorillonita	80-150
Vermiculita	100-160
Materia orgánica	300-500

Como vemos la naturaleza del cambiador confiere mayor a menor capacidad de cambio. Cada 1% de arcilla puede repercutir en medio miliequivalente en la capacidad de cambio de cationes del suelo. Si en vez de arcilla nos referimos a la materia orgánica, cada 1% puede repercutir en 2 miliequivalentes más (miliequivalente / 100gr = $\text{cmol}(+) \text{Kg}^{-1}$).

¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO?

- Controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla y por consiguiente en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Determina el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo.

4. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

LA VIDA EN EL SUELO

La presencia de organismos dentro del suelo es una señal inequívoca de la calidad que posee dicho ecosistema. Muchas veces basta con observar la presencia de organismos vivos para saber como se encuentra el suelo y para qué lo podemos usar. Cómo ha sido explotado o sencillamente saber que problemas podríamos enfrentar al establecer un cultivo determinado.

En los suelos es necesario determinar dos parámetros que indican su calidad biológica; estamos hablando de la diversidad y la abundancia. El tener abundancia a veces puede tener ciertas complicaciones porque significa que los suelos se encuentran afectados o fueron afectados al haber desequilibrio entre las especies. (Chavarría, D. y Torrez, M. 2010)

En el suelo se encuentra representada la gran mayoría de los componentes del reino animal, teniendo predominio los invertebrados.

La función principal de los organismos vivos en los suelos es precisamente el enriquecimiento del mismo a través de la transformación de la materia orgánica y modificación de algunas propiedades físicas como la porosidad, aireación, drenaje, etc.

En los suelos dependiendo su ubicación y la interrelación con otros factores y componentes ecológicos, podremos encontrar casi todas las especies con excepción de peces. En el caso de los vertebrados los más abundantes son los mamíferos, sobre todo roedores como la taltuza, ratas, topes, conejos, entre otros. Los que lo utilizan para construir sus madrigueras, contribuyendo con ello a la remoción de suelo y permitiendo la aireación, drenaje y retención de humedad, entre otros beneficios (cuando se trata de áreas no cultivadas). En el suelo también se pueden encontrar especies de reptiles y aves, aunque estos al igual que los mamíferos no pueden considerarse meramente fauna edáfica. (UEX, 2005)

Refiriéndonos a los invertebrados se encuentran especies pertenecientes a las clases de los nemátodos, anélidos, artrópodos y moluscos pero también especies microscópicas pertenecientes a los reinos (monera, protista, fungi y plantae). Entre seres microscópicos en los suelos tenemos protozoos, bacterias, actinomicetos, hongos y algas.

PRINCIPALES CLASES DE INVERTEBRADOS

ARTRÓPODOS

Dentro de la clase de los artrópodos se encuentran los insectos y dentro de estos deseamos estudiar a los colémbolos.

Las especies pertenecientes a esta clase de invertebrados prefieren lugares húmedos propios de la hojarasca en putrefacción y otros restos vegetales. Estas especies raramente se comportan como carnívoras (de pupas de dípteros y bacterias), siendo que la mayoría se alimenta estrictamente de micelios de hongos y de esporas.

Como todo en nuestro planeta, algunas especies son perjudiciales para los humanos al dañar los cultivos, pero en lo general tienden a ser beneficiosos para los suelos al congregarse y acumularse en las zonas más porosas y aireadas. Algunas especies como *Odontella armata* y *Odontella lamellifera* pueden utilizarse como indicadoras del pH del suelo, (la primera es basófila mientras que la segunda es acidófila).

Los colémbolos contribuyen de dos formas a la formación de los suelos; por una parte extraen materiales que son ingeridos por ellos y luego aportan sus heces al suelo, mejorando la calidad del mismo. Los excrementos de los colémbolos junto a los de los ácaros, pueden llegar a constituir horizontes llamados “mull de insectos”.

Otras especies de importancia dentro de los artrópodos son propias de la familia de los miriápodos, lo que se caracterizan por presentar respiración traqueal, dos antenas y cuerpo largo y dividido en numerosos anillos, cada uno de los cuales lleva uno o dos pares de patas.

En el suelo están representadas sólo dos subclases: diplópodos o milpiés y quilópodos o ciempiés.

Los Diplópodos o comúnmente conocidos como milpiés, se caracterizan por tener en la cabeza un par de ojos simples, un par de antenas, un par de mandíbulas y otro de maxilas. El cuerpo es de forma cilíndrica y presenta de 25 a 100 segmentos, con un par de patas cada uno. El tórax está formado por cuatro, y los restantes son considerados abdominales. En cada segmento abdominal existe un par de espiráculos. Localizados en el extremo anterior se encuentra un par de orificios genitales. En la mayoría de las especies los apéndices del séptimo segmento están especializados para la cópula. (Johnson, B. 2010)

Aunque pueden alimentarse de materia fresca prefieren hacerlo de la hojarasca medio descompuesta porque no son capaces de digerir la celulosa. Son excelentes trituradores y mezcladores mecánicos. Se debe de tener cuidado de no plantar raíces y tubérculos cuando se halla realizado aplicación de abonos orgánicos ya que los milpiés se pueden convertir en una verdadera plaga. (Chavarría, F. 2007, citando a UEX 2005)

En el caso de los quilópodos o ciempiés, se caracterizan por tener el tronco compuesto por numerosos segmentos no soldados dos a dos, con los apéndices del primero convertidos en forcículas y con el orificio urogenital en el penúltimo segmento. Cada segmento del tronco tiene un par de patas excepto los cuatro últimos que son ápodos. En total tienen más de veinticinco pares de patas. Son depredadores. Los más conocidos son los ciempiés.

Se comportan como higrófilos y lucífugos. Al secarse la parte superficial del suelo se ven obligados a desplazarse hacia las capas del suelo más profundas.

ANÉLIDOS

Los Enquitreidos pertenecen a la clase de los anélidos.

Los Enquitreidos ingieren restos vegetales mezclados con tierra, con una especial predilección por las bacterias y sobre todo, por los hongos; es posible que aunque se alimentan de hongos y bacterias, los efectos mecánicos del paso de grandes cantidades de plantas y material mineral por su intestino puedan compensarse con la estimulación del crecimiento de la microflora.

Los Enquitreidos pueden ser carnívoros y comerse a otros miembros de la fauna de menor tamaño, tal es el caso de los nematodos, dentro de los cuales prefieren a los parásitos de las plantas, posiblemente en su primer estadio en que están en el suelo y poseen un desarrollo incompleto y un tamaño menor.

Las que viven en el horizonte A, concentran en sus excrementos los componentes fúngicos.

En cambio en las especies propias de zonas más profundas del suelo (horizonte B), tienen un mayor contenido de sílice en sus excretas.

En cuanto a las lombrices Reilly, J.P., Trutmann, P. y Rueda, A. (2004) señalan a estas como un anélido que a través de su metabolismo mejora la estructura del suelo además de mejorar algunas características químicas de los suelos.

Las lombrices contribuyen a mejorar las características físicas al construir sus galerías y remover el suelo y mezclar verticalmente las sustancias orgánicas de la capa arable. Existen lombrices que perforan galerías en todas las direcciones, y en esta acción segregan una mucosa que da firmeza a las paredes de las mismas, y por lo general, son excavaciones más profundas que las realizadas por los arados. Algunas lombrices llegan hasta los 4 metros de profundidad, con la ventaja de que no destruyen la estructura del suelo. Además, al construir sus galerías. Contribuyen a mejorar la circulación del aire y del agua.

Con las deyecciones o excrementos que almacenan en la superficie del suelo, a la entrada de las galerías, en cantidades que fluctúan entre 10 a 90 toneladas por manzana al año aportan entre 3 a 4 veces más nutrientes disponibles que un suelo sin lombrices.

Las lombrices a través de la deposición de sus excretas aumentan de tres a once veces el nivel de fósforo, potasio y magnesio disponible en el suelo; elevan de cinco a diez veces el nivel de nitratos y de calcio, disminuyendo la acidez de la tierra (Reilly, J.P., Trutmann, P. y Rueda, A. 2004).

Por los aportes a la calidad de los suelos de parte de las lombrices de tierra se debe promover su aplicación pero además se requiere de implementar otras prácticas agronómicas y culturales como son las rotaciones y asociaciones de cultivos, uso de abonos orgánicos, abonos verdes, rastrojos incorporados o sin incorporar, terrazas, zanjas de infiltración o evacuación según sea el caso.



C Ejercitación

TRABAJO EN EQUIPO

1) Formamos equipos de trabajo con un número de cuatro personas máximo, nombramos un relator, un controlador de tiempo y un comunicador y resolvemos las siguientes preguntas:

- a) ¿Para qué servirá conocer la capacidad de campo que posee un suelo?
- b) ¿Qué procedimiento considerarían para el cálculo de humedad gravimétrica de un suelo?
- c) ¿Qué elementos debe considerar para el cálculo de balance de humedad en el suelo?
- d) ¿De qué utilidad es el conocimiento de las propiedades físicas de un suelo?
- e) Describa procedimiento para lograr la determinación de la densidad de un suelo. ¿Qué requiere para lograrlo?
- f) ¿Qué efectos tiene la pedregosidad en el laboreo del suelo?
- g) En la CIC principalmente interviene.
 - El pH.
 - El potencial redox.
 - La naturaleza del cambiador.
 - El tamaño de las partículas.
 - Los Ca y Mg de cambio.

Detalle porqué su respuesta.

h) La acidificación de los suelos se debe a la presencia alta de:

- Al
- Ca
- Na
- K
- Mg

Detalle porqué su respuesta.

i) El componente con más alta capacidad de cambio iónico es:

- Moscovita.
- Clorita.
- Alofana.
- Caolinita.
- Materia orgánica.

Detalle porqué su respuesta.

j) ¿Qué importancia tienen los invertebrados en la calidad de los suelos?

k) ¿Qué debemos de hacer para mantener esa calidad biológica?

l) ¿Qué papel desempeñan las lombrices?

2. Elaboramos un informe basados en las preguntas planteadas y lo presentamos al profesor.

3. Sustentamos el trabajo ante la clase y el docente para realimentar los aprendizajes.

IMPORTANTE

Luego de realizar la exposición, si se diera el caso que el auditorio le planteara preguntas, pueden responder los miembros del equipo de trabajo. Se sugiere tomar nota de los aportes del plenario a la exposición del grupo. Incorpore al informe los aportes que crea pertinente.

D *Aplicación*

TRABAJO EN EQUIPO

1. Organizados en equipos de trabajo elegimos los roles de relator, controlador de tiempo y comunicador, visitamos una unidad de producción cercana, hacemos un recorrido por las áreas de cultivos y luego indagamos con el propietario sobre lo siguiente:

- a) ¿Qué incidencia ha tenido sobre los rendimientos productivos el uso de nitrógeno?
- b) ¿Cómo ha impactado en la producción y sus rendimientos el uso de abonos orgánicos?
- c) ¿Qué pH poseen los suelos en la unidad de producción visitada?

- d) ¿Ha sido necesario aplicar alguna enmienda para corregir problemas de pH?
- e) ¿Qué problemas nos puede acarrear que un suelo tenga un pH ácido o muy alcalino?
- f) ¿Cuál es la opinión del productor acerca de la influencia del color en la fertilidad de sus suelos?
2. En los mismos equipos de trabajo, realizamos el siguiente ejercicio con las instrucciones que a continuación se relacionan.
- a) Pidamos permiso al productor y con la ayuda de cilindros metálicos de tres pulgadas de diámetro y de peso conocido y altura de 15 cm, extraiga muestras de suelos en tres sitios diferentes a profundidad de 15 centímetros. Luego procedemos de la manera siguiente:
- Pese muestras + cilindro
 - Réstele tara (peso de cilindro)
 - Seque las muestras a temperatura ambiente durante tres días bajo sombra
 - Pese muestras secas a temperatura ambiente
 - Someta las muestras a temperatura de 105° C. durante 24 horas
 - Péselas para determinar peso seco
- b) Con los datos obtenidos, calcule:
- Densidad de suelo
 - Porosidad total
 - Porosidad ocupada por agua
 - Humedad gravimétrica (%) de cada una de las muestras
 - Humedad volumétrica (%) de las muestras
- c) ¿Cuál de las muestras contiene mayor cantidad de humedad? ¿Es eso bueno o malo para nuestros cultivos? ¿Por qué?
- d) ¿Existe presencia de invertebrados en los suelos analizados?
- e) ¿De qué tipos?
- f) ¿Cuántos individuos existen de cada una de las clases estudiadas?
- g) ¿Por qué están en ese sitio?
- h) En caso de no encontrar individuos invertebrados, respondamos ¿Debido a qué se da la situación?

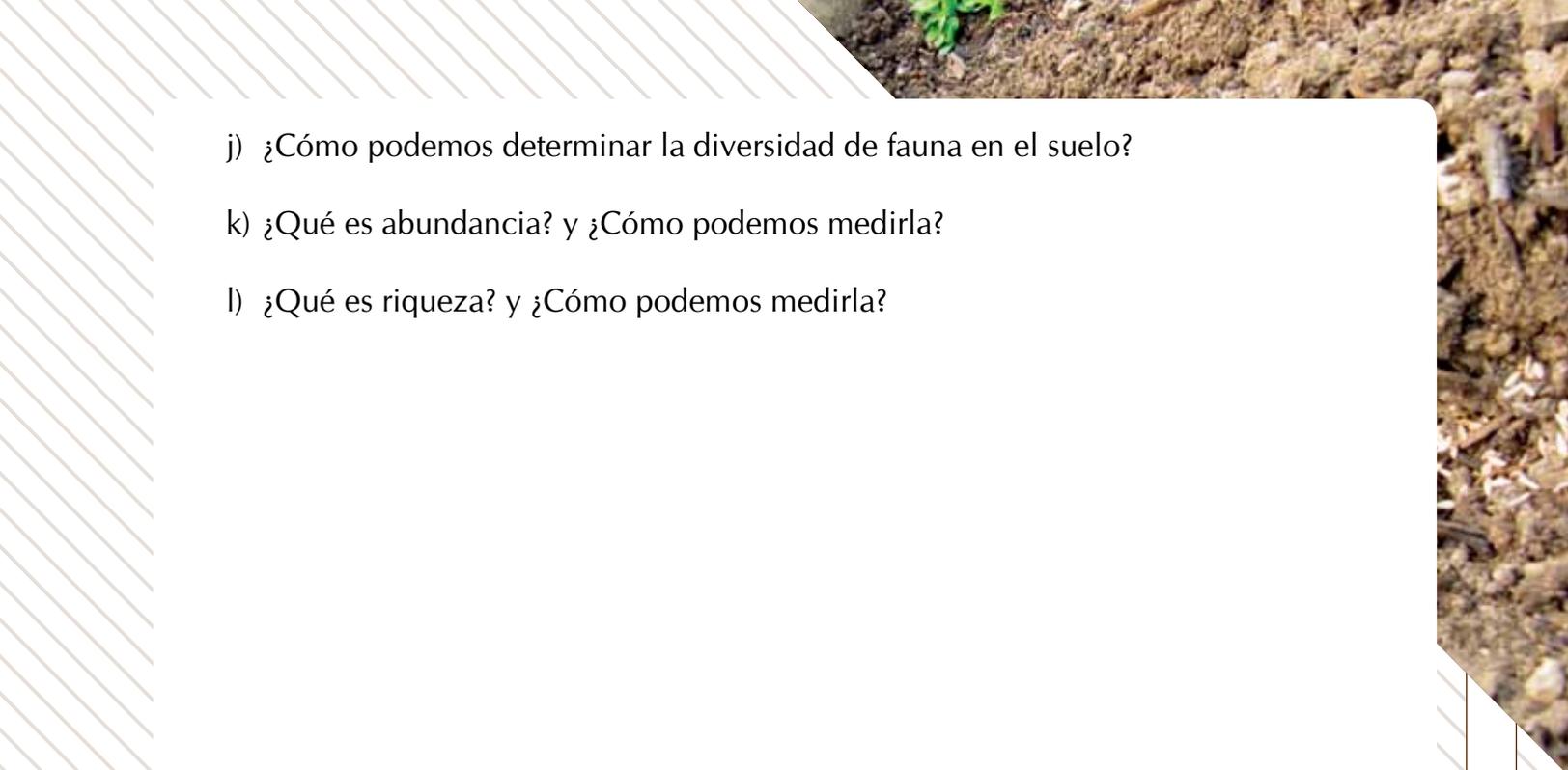
EN PLENARIA

1. Socializamos el trabajo desarrollado con los demás compañeros de clase, teniendo en cuenta los roles establecidos al interior de cada equipo.
 - a) El relator del grupo expone las conclusiones hechas en el equipo de trabajo con respecto al ejercicio anterior.
 - b) Los integrantes del equipo de trabajo respondemos las inquietudes que se presenten en la plenaria.
 - c) Los miembros de los grupos de trabajo debemos incorporar al informe los aportes obtenidos de otras exposiciones o señalamientos hechos por el plenario.
 - d) Con ayuda del docente aclaramos dudas que hayan surgido luego de la exposición.

E *Complementación*

TRABAJO INDIVIDUAL

1. En forma individual consulto en internet en la página: <http://web.usal.es/javisan/hidro/practicas> o en la biblioteca, según lo indicado por el profesor para resolver los siguientes interrogantes para complementar mis aprendizajes.
 - a) ¿Qué otros métodos existen para calcular Capacidad de Campo de un suelo?
 - b) ¿Qué otros métodos existen para calcular Punto de Marchitez Permanente de un suelo?
 - c) ¿De qué otras formas puedo determinar la velocidad de infiltración en un suelo?
 - d) ¿Cómo se puede calcular la velocidad de infiltración de un suelo?
 - e) Determinemos la textura de una muestra de suelo utilizando Método del tacto.
 - f) ¿Cómo se puede regular el pH de un suelo ácido?
 - g) ¿Qué síntomas de deficiencia de N se presentan en los cultivos?
 - h) ¿Qué síntomas de deficiencia de P se presentan en los cultivos?
 - i) ¿Qué síntomas de deficiencia de K se presentan en los cultivos?

- 
- j) ¿Cómo podemos determinar la diversidad de fauna en el suelo?
 - k) ¿Qué es abundancia? y ¿Cómo podemos medirla?
 - l) ¿Qué es riqueza? y ¿Cómo podemos medirla?

BIBLIOGRAFÍA

CHAVARRÍA, F. (2007). Curso de Suelos I. UNAN Managua.

CHAVARRÍA, F. (2008). Compendio de riego. UNAN Managua.

CHAVARRÍA, D. y TORREZ, M. (2010). Evaluación de macrofauna asociada a SAF Cacao y fragmentos boscosos en municipio de Waslala-RAAN. 2009-2010.

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia.

JOHNSON, B. T. (2010). An introduction to the study of insects. 6ta. Edición. IBSN 0-03-025397-7.

REILLY, J.P, Trutmann, P y Rueda, A (2004). Guía Salud de Suelos. Manual para el cuidado de la salud de suelos. Universidad de Cornell y Zamorano, Grupo de trabajo sobre suelos, Tegucigalpa, Honduras C. A. ISBN:1-885995-59-8

SÁNCHEZ, J. (2005). Balance Hídrico. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. Recuperado en noviembre 2006 En <http://web.usal.es/javisan/hidro/practicas>

SÁNCHEZ, B.; RUIZ, M. y RÍOS, M.M. 1992. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado Aragua.

Universidad de Extremadura. (2005). Edafología para Ciencias Ambientales. Área de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias.

UNIDAD 3

LOS NUTRIENTES

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Explicar la dinámica de los distintos nutrientes en los suelos y su papel como elementos fundamentales en la nutrición de las plantas.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

- Explica la importancia de los nutrientes esenciales del suelo y su relación directa con la productividad.

1. ELEMENTOS ESENCIALES

A *Vivencias*

TRABAJO EN EQUIPO

- 1) Organicémonos en grupos de trabajo y resolvamos las actividades que se nos han asignado. Para ello elijamos a un relator y un moderador para que garanticemos que todos podamos participar.
- 2) Leamos y analicemos el párrafo siguiente.

En los últimos años a nivel mundial se ha experimentado el alza alarmante en los precios de los alimentos. Esto ha impactado de sobremanera a los habitantes de los países en vías de desarrollo. Las causas de estos incrementos en los precios son diversos, entre ellos está el asunto de la degradación de los suelos, lo que conlleva a la pérdida de fertilidad y por ende la baja de los rendimientos productivos. Para incidir de manera eficiente en este asunto, primeramente se debe conocer el papel que juegan los diferentes nutrientes en las plantas, conocer la fertilidad que posee el suelo, las condiciones climáticas, topografía, el papel de la materia orgánica, entre otros y en base a ello planificar el uso sostenible de los suelos.

En compañía de los miembros de su equipo de trabajo¹ de no más de cuatro compañeros dé respuestas a lo siguiente:

- 1) En nuestras comunidades ¿ha habido cambios sustantivos en los precios de los alimentos? ¿Por qué se ha dado estos cambios?
- 2) ¿Se realiza abonamientos a los suelos en nuestras comunidades?
- 3) ¿Cuál es la base principal de dichos abonamientos?
- 4) ¿Por qué en los suelos sin abonamientos, las cosechas son menores?

EN PLENARIA

- 1) El relator expone ante la plenaria los aportes que como grupo hemos hecho.

¹ Es aconsejable que la formación de los grupos de trabajo obedezca a cierta afinidad entre sus integrantes en caso de estudiantes que ya se conozcan. En caso contrario el docente facilitador deberá realizar la selección.

- 2) Junto a nuestro relator respondemos a inquietudes de plenaria.
- 3) Tomamos apuntes sobre las exposiciones de los grupos restantes de la clase.
- 4) Nuestro coordinador de grupo solicita al docente la valoración del trabajo presentado. El docente valora el trabajo y fortalece los aspectos en que se haga necesario profundizar o aclarar.

B *Fundamentación Científica*

TRABAJO EN EQUIPO

Como grupo realicemos lo siguiente.

- 1) El coordinador de nuestro subgrupo, leerá en voz alta parte del texto que nos haya sido asignada por el docente.
- 2) Los integrantes del subgrupo escuchamos con mucha atención la lectura y tomamos apuntes sobre los aspectos más importantes.

NUTRIENTES DEL SUELO

¿QUÉ ES FERTILIDAD DE SUELOS?

Primeramente se debe señalar que la fertilidad del suelo es una cualidad que depende de la interacción entre las diferentes características de un suelo. Es decir de sus características físicas, químicas y biológicas. La fertilidad consiste en la capacidad que posee el suelo de suministrar condiciones necesarias para el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas.

AHORA BIEN ¿QUÉ ES UN SUELO FÉRTIL?

Un suelo es fértil cuando es capaz de garantizar a las plantas buenas condiciones para su desarrollo y el logro de buenas cosechas.

La fertilidad de un suelo depende de la manera en que se relacionan sus características físicas, químicas y biológicas.

Y ¿QUÉ FACTORES INCIDEN PARA QUE UN SUELO SEA FÉRTIL?

Son muchos los factores que se involucran en la fertilidad de un suelo. Estos factores se agrupan en las características físicas, las características químicas y las características biológicas.

- Características físicas: Entre las principales se señalan:
 - Textura
 - Estructura
 - Densidad aparente
- Características químicas:
 - pH
 - Contenido de materia orgánica
 - Capacidad de intercambio catiónico
 - El grado de salinidad:
- Características biológicas:
 - La cantidad de seres vivos (Biodiversidad)
 - La relación entre las plantas y microorganismos.

Los factores antes mencionados a la vez influyen en la disponibilidad de nutrientes en los suelos. y desde allí las plantas los podrán tomar para poder desarrollarse, florecer y fructificar.

¿QUÉ SON LOS NUTRIENTES?

Los nutrientes son todos los minerales que la planta necesita para madurar y fructificar normalmente.

Generalmente no se percibe la necesidad de un elemento cuando se desconoce su función. Es por ello que nosotros debemos conocer primeramente las funciones de los nutrientes y en base a ello realizar los manejos apropiados para garantizar su suministro.

Es necesario señalar que para que las plantas puedan absorber los nutrientes, se debe garantizar lo siguiente:

1. Los nutrientes deben estar en el suelo en forma asimilable
2. Deben estar al alcance del sistema radicular
3. Deben estar disueltos en agua
4. La velocidad de difusión debe ser considerada (movimiento en dirección de la raíz)
5. La planta debe fotosintetizar lo más posible (CO², luz, agua)

Los nutrientes dependen de la variedad y especie del cultivo.

2. NITRÓGENO Y OTROS ELEMENTOS

Todos los nutrientes son esenciales para que las plantas puedan desarrollarse y poder producir buenas y abundantes cosechas. Sin embargo existen algunos elementos que por la cantidad en que son requeridos por las plantas son llamados macro elementos, elementos primarios o mal llamados elementos esenciales. Recordemos todos son esenciales. Un desbalance entre ellos crearía serios problemas de calidad y cantidad en la cosecha.

Entre los macroelementos tenemos al nitrógeno (N), al fósforo (P), al potasio (K), al calcio (Ca), al magnesio (Mg) y al azufre (S).

Cada elemento tiene sus propias funciones y en base a esas funciones que desempeñan en las plantas así mismo deben estar disponibles en el momento apropiado, pues de lo contrario se crearán situaciones de deficiencias que pondrán en riesgo la salud de la planta, sus rendimientos y la calidad de la producción esperada.

NITRÓGENO

En el caso del N, este tiene numerosas funciones en las plantas, entre éstas:

- Ayuda al buen crecimiento de las plantas.
- Da el color verde a las hojas. Esencial para el proceso de fotosíntesis.
- Contribuye a la obtención de buenas cosechas.
- Cuando se aplica nitrógeno en exceso se demora la floración y fructificación.
- Contribuye a que se dé buena absorción de otros nutrientes como fósforo y potasio entre otros.

El N se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+).

La solubilidad de los compuestos nitrogenados es alta, por lo que su disponibilidad normalmente también es alta bajo determinadas condiciones.

Para garantizar una nutrición nitrogenada óptima, la estrategia es optimizar el balance de nitrógeno en el suelo, lo que se consigue maximizando las entradas y minimizando las salidas. El balance varía según:

- Cultivo y variedad
- Suelo (principalmente la textura)
- Fertilización (tipo de fertilizante, frecuencia, dosis, forma de aplicación)
- Nivel de materia orgánica
- Prácticas agronómicas (manejo del cultivo)

Las principales entradas de nitrógeno al sistema considerando su concentración se dan a través de fijación biológica y procesos simbióticos. Este proceso consiste en capturar nitrógeno del aire en forma de N_2 y transformarlo en NH_3^- y NH_4^+ .

La fijación del nitrógeno es un proceso en el cual el nitrógeno atmosférico (N_2) se convierte en amonio (NH_4^+). Es la única forma en la que los organismos pueden obtener nitrógeno directamente de la atmósfera. En la fijación intervienen microorganismos como Azotobacter, Cianobacterias, Anabaena, Rhizobium, Beijerincha y algunos hongos.

Algunas bacterias, por ejemplo las del género Rhizobium fijan N por procesos metabólicos.

El amonio producido por el nitrógeno que fijan las bacterias nitrificantes es incorporado rápidamente a proteínas y otros compuestos nitrogenados.

El nitrógeno orgánico pasa a convertirse en mineral (NO_3^- , NO_2^-) a través del proceso de nitrificación:

La nitrificación requiere la presencia del oxígeno y de bacterias nitrificantes como las nitrosomas que pasan compuestos amoniacaes a nitritos y las nitrobacter que pasan los nitritos a nitratos.

Los iones de amonio de carga positiva se unen a partículas y materias orgánicas del suelo que tienen carga negativa, evitando ser lixiviado. El ión nitrato de carga negativa no se mantiene en las partículas del suelo y puede ser lavado del perfil.

Esto lleva a una disminución de la fertilidad del suelo y a un enriquecimiento de nitrato en aguas superficiales y subsuperficiales.

Para que se dé proceso de nitrificación se requiere:

- Aireación: procesos oxidantes.
- Que la temperatura esté en un rango óptimo de $27^\circ - 32^\circ C$, con temperaturas mínimas de 1.5° y como máximo $51^\circ C$.
- Es necesario cierto grado de humedad. En terrenos anegados o muy secos no hay actividad de parte de los microorganismos.
- Terrenos calcáreos que estimulan la nitrificación.
- Fertilizaciones, las que estimulan el proceso.

Los nitratos pueden:

- Ser utilizados por los microorganismos del suelo.
- Ser usados por las plantas.
- Perderse por lavado debido a escorrentías superficiales.
- Perderse debido a volatilización por efectos del sol o el viento.

La amonificación se da a través de la hidrólisis enzimática, pudiendo el nitrógeno amoniacal seguir cuatro caminos posibles:

- 1) Consumo por parte de los microorganismos
- 2) Consumo por parte de plantas superiores
- 3) Ser fijado por las arcillas
- 4) Nitrificarse (oxidación del amonio)

Al morir los organismos, las bacterias y los hongos descomponen la materia orgánica y parte del N se convierte en amonio, quedando disponible para ser usado por las plantas o para transformaciones posteriores en nitrato (NO_3^-) a través del proceso llamado nitrificación.

El mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan: bacterias, hongos y nematodos.

Las pérdidas de nitrógeno del suelo se dan principalmente por:

- Lixiviación
- Volatilización
- Cosecha
- Erosión

DESNITRIFICACIÓN

A través de la desnitrificación, las formas oxidadas de nitrógeno como el nitrato y el nitrito (NO_2^-) se convierte en N_2 y, en menor medida, en gas óxido nitroso (N_2O) y óxido nítrico (NO). La desnitrificación es un proceso anaeróbico realizado por bacterias desnitrificantes como algunos bacilos y pseudomonas.

VOLATILIZACIÓN

Mediante la volatilización se da la pérdida de aproximadamente el 20% del nitrógeno de los suelos. Los nitratos y nitritos pasan a hiponitritos (HNO) que es volátil o bien a óxido nitroso (N_2O) en presencia de pH mayores de 7 y a óxido nítrico (2NO) en presencia de suelos con pH menores de 6.

DÉFICIT Y EXCESO

La falta de nitrógeno provoca color verde pálido en las hojas tirando a amarillo. Empieza primero por las hojas más viejas. La planta no crece, aunque puede florecer. En cambio si existe exceso de nitrógeno, el crecimiento es exagerado, puede bajar la calidad del cultivo, la planta es débil y tierna y, por tanto, más propensas a las plagas y enfermedades, al viento, a la lluvia, al granizo y al frío.

FÓSFORO (P)

Es un elemento importante en la nutrición de las plantas. Entre sus papeles en las plantas podemos mencionar:

- Contribuye a que las plantas sean menos susceptibles ante el ataque de plagas y enfermedades.
- Coadyuva al buen crecimiento de las plantas.
- Contribuye a formación de sistema radicular fuerte y abundante.
- Contribuye a la formación y maduración de los frutos.
- Es indispensable en la formación de las semillas.

Para poder entender el funcionamiento del P en el sistema suelo-planta se necesita conocer dos aspectos básicos:

- 1) Su dinámica en el suelo.
- 2) La fisiología del cultivo.

Desde un punto de vista práctico, interesa conocer las entradas y salidas de P del sistema suelo-planta y cómo es la movilidad del nutriente en el suelo.

Las entradas de P en el sistema se pueden dar por dos vías:

- 1) Agregado de fertilizantes con fuentes de fósforo.
- 2) Fósforo orgánico o inorgánico.

Del total de P en los suelos sólo un porcentaje muy bajo (entre 0,1 ppm y 0,3 ppm) se encuentra realmente en solución, lo que lo hace disponible para plantas y microorganismos.

Debido a la poca movilidad del P en el suelo debería ser colocado, en el cultivo, en el momento de su siembra y lo más cerca posible de las semillas.

En siembra directa, la fertilización al momento de la siembra, es de suma importancia.

La eficiencia de la fuente de fósforo varía según:

- Tipo de suelo (pH y tipo de arcillas).
- Fuente de fósforo aplicada.
- Técnica de aplicación (Voleo, circular, media luna, enterrado, sin enterrar)

En la disponibilidad del P influyen:

- pH del suelo.

- Presencia de Fe, Al, y Mn solubles.
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles.
- Cantidad y descomposición de materia orgánica.
- Actividad de microorganismos.

El pH juega un papel importante en la variación de la disponibilidad de P en los suelos:

- En suelos con pH entre 3-4 se da mínima solubilidad.
- En suelos con pH de 5,5, el P se encuentra químicamente combinado con Fe y Al.
- Cuando el pH es de 6, el P comienza a precipitarse como fosfato cálcico.
- En suelos con pH de 6,5, se da formación de sales de calcio insolubles debido a lo cual el fósforo no se encuentra disponible para las plantas ni para microorganismos.
- En suelos con pH > 7 puede darse formación de apatita que es un compuesto muy insoluble.

En un rango de pH cercano a 6,5 en el que el fosfato se mantiene soluble, pero puede presentar cierto riesgo de lixiviación.

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ión fosfato monoácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ión fosfato diácido).

El equilibrio químico dinámico del P (Reposición) se consigue a través de tres procesos:

- 1) Mineralización del humus.
- 2) Fracciones más lábiles de las arcillas.
- 3) Desde la mineralogía primaria (este proceso es lento).

En suelos bien provistos de P, en donde se realizan aplicaciones de P de reposición, las diferencias entre aplicar al voleo o en líneas a la siembra, se reducen considerablemente.

Las salidas de P se deben fundamentalmente a cuatro situaciones:

- 1) Extracción por las cosechas del cultivo
- 2) Procesos erosivos
- 3) Escurrimiento
- 4) Lixiviación

A fin de estimar la dosis de P a aplicarse a un cultivo, es necesario realizar análisis de suelo previo a la siembra y análisis foliares durante el desarrollo y fructificación.

Los índices químicos de determinación de P en suelo, son eficientes para evaluar la

disponibilidad o la capacidad de suministro de P para las plantas por parte del suelo, en términos relativos, pero no la cantidad que el suelo puede fijar en formas no disponibles y por lo tanto cuánto de lo aplicado queda para la planta. Por ello, es que la dosis requerida depende más del suelo y de su capacidad de retención de P que dé la disponibilidad medida por medio de un extractante.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE P

Los síntomas de deficiencia de P se presentan en las hojas viejas. La característica es un color verde pálido, hojas con bordes secos y un color entre violeta y castaño. La floración es baja y el sistema radicular es pobre.

POTASIO (K)

Es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas al realizar las funciones siguientes:

- Ayuda a la planta a formar tallos fuertes y vigorosos.
- Favorece el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos.
- Ayuda al balance de agua en las plantas.
- Contribuye a la fotosíntesis.
- Ayuda a la planta a la formación de azúcares, almidones y aceites.
- Da a la planta resistencia a las enfermedades.
- Mejora la calidad de las cosechas.

El K en el suelo puede provenir de:

- Meteorización de los minerales (relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis)
- Minerales arcillosos (fuente principal de K en el suelo)
- Mineralización de los residuos orgánicos
- Fertilizantes incorporados

El potasio intercambiable lo constituye la forma iónica (K^+) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica de los suelos.

El sistema radicular produce una rápida disminución en la concentración de K de la solución del suelo cercana a él. Lo que da origen a un proceso de difusión, con liberación del K intercambiable adsorbido por las cargas de las arcillas y de la materia orgánica.

Los aportes de K por el uso de fertilizantes son necesarios para reponer las posiciones en especial en aquellos suelos con baja saturación y baja regulación potásica, sometidos a agricultura continua, tal es el caso de cultivos perennes o bien áreas destinadas para producir para el autoconsumo.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE K

- Las hojas se mantienen verdes pero con los bordes amarillentos y marrones.
- Se reduce la floración, fructificación y desarrollo de toda la planta.
- Cuando la deficiencia es leve, los síntomas se observan en las hojas viejas; pero al agravarse la carencia los brotes jóvenes son los más severamente afectados, llegando incluso a secarse. Las hojas jóvenes se ven como rojizas.
- La textura juega un papel importante para que se dé la deficiencia de K en suelos arenosos y suelos con alto contenido de calcio, es donde mayormente se manifiestan los síntomas de deficiencia.

CALCIO (Ca)

El Ca juega un importante papel en la fertilidad de los suelos al permitir entre otras funciones, lo siguiente:

- Ayuda a que se dé un buen crecimiento de la raíz y del tallo de la planta.
- Permite que la planta tome del suelo los alimentos fácilmente.
- Ayuda a reducir nitratos en las plantas.
- Ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta.
- Influye indirectamente en los rendimientos de los cultivos al reducir la acidez de los suelos.
- Contribuye a la fijación del N al ser requerido por las bacterias fijadoras.
- Otorga turgencia a las plantas haciéndolas más eficientes en el uso de agua y reduciendo las pérdidas por evapotranspiración.

Las principales fuentes del calcio son:

- Calcita
- Dolomita
- Yeso
- Superfosfato simple y superfosfato triple

La cantidad total de Ca en el suelo es variable, ya que en suelos áridos y calcáreos, los niveles de Ca son muy altos. En cambio en suelos viejos de los trópicos, el nivel de Ca es bajo. En el caso de los suelos arcillosos contienen más Ca que los suelos arenosos.

El calcio es absorbido por las plantas en forma del catión Ca^{++} . Debido a que el Ca existe como un catión, este nutriente está gobernado por los fenómenos del intercambio catiónico al igual que los otros cationes, y se mantiene adherido como Ca^{++} intercambiable en la superficie de los coloides cargados negativamente. Generalmente es el catión dominante en el suelo, aún a valores de pH bajos.

MAGNESIO (Mg)

El Mg entre otras funciones tiene:

- Ayuda a la formación de aceites y grasas.
- Es el principal elemento en la formación de clorofila. La clorofila es la sustancia que le da el color verde a las hojas. Sin clorofila las plantas no pueden formar azúcares.

El magnesio proviene de minerales como biotita, hornablenda, dolomita y clorita. Al igual que el calcio está sujeto a fenómenos del intercambio catiónico. El magnesio se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de las arcillas y la materia orgánica.

Los suelos generalmente contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg no es absorbido tan fuertemente como el Ca por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Mg

El principal síntoma de carencia de Mg se presenta en hojas viejas en donde se observan espacios entre las nervaduras de color amarillo. La coloración de las hojas también puede ser rojiza y con manchas amarillas.

Al agravarse deficiencia las hojas jóvenes se ven afectadas también. En casos severos se da defoliación total de la planta.

AZUFRE (S)

El azufre es absorbido por las plantas como sulfato, en forma aniónica (SO_4^{2-}).

El azufre también puede entrar a la planta por las hojas en forma de gas (SO_2), que se encuentra en la atmósfera, donde se concentra debido a los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica, combustión de carburantes y fundición de metales.

- Forma parte constituyente de aminoácidos (cistina, cisteína, metionina) y de vitaminas (biotina).
- Constituyente de las distintas enzimas.
- Actúa en el ciclo de los hidratos de carbono y en los lípidos.
- Interviene en los mecanismos de óxido-reducción de las células.
- Actúa sobre el contenido de azúcar de los frutos.
- Actúa en la formación de la clorofila.
- Ayuda a un desarrollo más acelerado del sistema radicular y de las bacterias nodulares, que asimilan el nitrógeno atmosférico, que viven en simbiosis con las leguminosas.

El azufre en el suelo se ve limitado por factores como:

- pH del suelo
- Contenido de materia orgánica
- Salinidad del suelo

Las fuentes principales del azufre son:

- Material permeable del suelo
- Azufre cristalino
- Roca madre (basalto)
- En aguas y ríos
- Pirita (blenda)

Síntomas de deficiencia de azufre

- Crecimiento lento.
- Debilidad estructural de la planta, tallos cortos y pobres.
- Clorosis en hojas jóvenes.
- Amarillamiento principalmente en los “nervios” foliares e inclusive aparición de manchas oscuras (por ejemplo, en la papa).
- Desarrollo prematuro de las yemas laterales.
- Formación de los frutos incompleta.

En la tabla siguiente se resumen las principales funciones por cada elemento y el momento en que deben ser suministrados en caso de no estar suficientemente disponibles en el suelo.

Tabla 1. Funciones y momento crítico

SÍMBOLO	FUNCIÓN	MOMENTO CRÍTICO
N	Promueve el desarrollo de las hojas y crecimiento de los brotes	Durante la etapa inicial del cultivo
P	Contribuye a la formación de las flores y raíces.	Durante la etapa inicial del cultivo, floración y la maduración del fruto.
K	Favorece la resistencia de la planta a las enfermedades y mejora la calidad el fruto	Durante la maduración de los frutos.
Ca	Fortalece la estructura de la planta	Durante la floración y formación de frutos
Mg	Participa en la construcción de la clorofila	Durante la etapa inicial del cultivo
S	Participa en la formación de la semilla y en el desarrollo de vitaminas y aromas	Durante la etapa inicial del cultivo

Fuente: Pastora, M. y Averruz, B. (2011)

3. OLIGOELEMENTOS

Las plantas necesitan de otros elementos que se encuentran en los suelos o deberían aplicarse. Estos elementos al ser requeridos en menor cantidad se les conocen como elementos menores.

Cuando los elementos menores no se encuentran en las concentraciones adecuadas en los suelos, las hojas de las plantas muestran amarillamientos y se deforman, pueden aparecer torcidas, arrugadas, o encrespadas en sus bordes.

Entre los nutrientes menores se encuentra:

- Boro (B)
- Zinc (Zn)
- Hierro (Fe)
- Manganeso (Mn)
- Cobre (Cu)
- Molibdeno (Mo)
- Cloro (Cl)

Fuentes de oligoelementos en el suelo:

- Material original (rocas y minerales).
- Impurezas en fertilizantes, productos de encalado, plaguicidas y aguas residuales.
- Residuos industriales, productos de combustión de materiales fósiles, materiales volcánicos.

Los oligoelementos del suelo los podemos encontrar:

- Solubles en agua.
- Como catión de cambio.
- De forma complejada por la materia orgánica.
- De forma ocluida en óxidos de Fe y Mn.
- Como minerales primarios y formando parte de arcillas por sustituciones isomórficas del Fe y Al de las capas octaédricas.

La disponibilidad de los oligoelementos va a estar regulada por el pH, que va a modificar su comportamiento en el suelo según su: solubilidad, adsorción e inmovilidad.

BORO (B)

El Boro se encuentra en la fase sólida del suelo en tres formas:

- En los minerales silicatados.



- Absorbido en minerales arcillosos en la materia orgánica.
- En los hidróxidos de aluminio y hierro.

El Boro que forma parte de estos minerales no se encuentra disponible para la planta, al menos, en corto plazo.

El Boro se encuentra en la disolución del suelo como ácido bórico, formando complejos con Ca o unido a compuestos orgánicos solubles.

Los factores del suelo que influyen en su asimilación son:

- El B queda fijado por el suelo cuando el pH es de 8 a 9.
- En suelos de textura liviana el B puede ser fácilmente lixiviado, mientras que en suelos de textura arcillosa su movilidad es prácticamente nula.

Normalmente, el Boro soluble se encuentra en los horizontes superficiales de los suelos bien drenados, unido a la materia orgánica. En períodos secos la planta es incapaz de absorber el B de estos horizontes.

En suelos con exceso de cal se reduce su disponibilidad.

SÍNTOMAS DE CARENCIA

La deficiencia de Boro se observa en los tejidos de crecimiento: raíz, hoja, tallo y provoca un crecimiento lento.

ZINC (Zn)

El Zinc tiene como origen materiales silicatados, sulfuros, óxidos y carbonatos.

En la disolución del suelo se encuentra fundamentalmente como Zn^{2+} , sin que tenga propiedades redox.

El Zinc se encuentra más disponible en los suelos ácidos que en los alcalinos, siendo su mínima disponibilidad para pH por encima de 7.

Aproximadamente el 66% del Zn asimilable se encuentra en la capa arable.

La utilización del Zn por la planta se da como:

- Zinc soluble, presente en la disolución del suelo.
- Zinc intercambiable, adsorbido por los coloides.
- Zinc fijado. Puede alcanzar valores importantes debido a que es capaz de sustituir a algunos elementos de la estructura de la arcilla (Al, Mn, Fe), permaneciendo inaccesible para la planta.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Zn

- La deficiencia se manifiesta sobre todo en las hojas más jóvenes.
- Los entrenudos se acortan en los brotes, formando rosetas de hojas amarillentas. Las hojas viejas aparecen bronceadas y se caen fácilmente.

La deficiencia en Zn se da en una amplia variedad de suelos como son los sueltos, los calcáreos, margosos y arenosos pobres en materia orgánica, aunque sobre todo en estos últimos.

HIERRO (Fe)

El Fe se encuentra en la naturaleza tanto en forma de Fe (III) como de Fe (II), dependiendo del estado redox del sistema.

El hierro se encuentra en el suelo en cantidad suficiente formando distintos compuestos como óxidos e hidróxidos. Sin embargo, la cantidad total no se correlaciona con la cantidad disponible para las plantas.

El hierro contribuye a los colores de los suelos. La coloración es debida, en su mayoría, a la presencia de óxidos libres. Los colores amarillo-pardo de las zonas templadas-frías se deben a la presencia de óxidos hidratados como la goetita. En cambio las coloraciones rojas de suelos de regiones áridas son debidas a óxidos no hidratados como la hematita.

Las formas del Fe son:

1) Soluble:

- Se encuentra en condiciones reductoras, como Fe^{2+} y sus formas hidroxiladas $Fe(OH)_{n-2}$ en la disolución del suelo.
- Cuando el potencial de oxidación y la acidez sean altos se encuentra como Fe^{3+} y sus formas hidroxiladas $Fe(OH)_{n-3}$.
- En combinaciones orgánicas formando complejos, en forma divalente y trivalente.

2) Insoluble:

- Como oxihidróxidos férricos (goetita, hematita, maghemita, lepidocrocita, ferridrita, otros).
- En forma de oxihidróxidos mixtos de Fe (III) y Fe (II) como la magnetita o el óxido ferrósico.
- En forma de $FeCO_3$, siderita, en suelos muy reducidos.

Los contenidos de arcilla y materia orgánica influyen también en la disponibilidad del Fe. En los suelos arcillosos, existe una tendencia a retener el Fe. Un contenido adecuado de materia orgánica, actúa de forma favorable en cuanto al aprovechamiento del Fe por parte del cultivo, debido a sus características acidificantes y reductoras, así como a la

capacidad de determinadas sustancias húmicas para formar quelatos en condiciones adversas de pH.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE Fe

La deficiencia de Fe se manifiesta primero en las hojas jóvenes pero también pueden aparecer en las más viejas. Las hojas quedan amarillas con los nervios verdes, después todas amarillas, se enrollan y finalmente caen. Dejando a la planta sin la capacidad de fotosíntesis.

Es importante de señalar que la deficiencia se ve favorecida en presencia de suelos con alto contenido en calcio que insolubiliza al hierro y no puede ser tomado por las plantas.

MANGANESO (Mn)

El manganeso que existe en el suelo proviene de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos.

Debido a sus diferentes grados de oxidación (II, III y IV) y a la propiedad de pasar con facilidad de unas formas a otras, el comportamiento del Mn en el suelo es complejo.

Las formas en que el Mn se puede presentar en los suelos son:

- Ion manganeso Mn^{2+} en la solución del suelo. En esta forma es intercambiable y disponible para las plantas.
- Óxidos e hidróxidos (MnO_2 , $MnOOH$) o asociado a hidróxidos de hierro.
- Sales poco solubles (fosfatos de Mn (II) y Mn (III), carbonatos de Mn (II)), sobre todo en suelos calizos y alcalinos.
- Participando en compuestos orgánicos.
- La presencia del Mn disponible, Mn (II), depende tanto del pH como del potencial redox. A pH superior a 5,5 se favorece la oxidación por acción biológica en suelos bien aireados, por lo que disminuye su disponibilidad. A su vez, las formas oxidadas se reducen, pasando a ser más disponibles, a pH más ácido y en suelos reducidos.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

Existe complejidad en cuanto a distinguir síntomas carenciales de manganeso debido a los síntomas son parecidos a los del hierro, es decir hojas amarillas con nervaduras que permanecen verdes. Se puede diferenciar porque en este caso aparece una aureola verde alrededor de los nervios. Las causas de la carencia son por suelos calcáreos y por suelos arenosos muy lavados.

COBRE (Cu)

La principal fuente de suministro de Cu en los suelos lo constituyen los sulfuros. Entre los más comunes se encuentra el sulfuro cuproso (SCu_2), el sulfuro férrico-cuproso (S_2FeCu) y el sulfuro cúprico (SCu).

El Cu se encuentra en forma cúprica (Cu²⁺), en la fase sólida del suelo, formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios. En menor porcentaje se encuentra en la materia orgánica, fijado como catión intercambiable al complejo coloidal arcilloso.

En la solución del suelo se encuentra fundamentalmente como Cu²⁺ y formando complejos estables con las sustancias húmicas del suelo.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

El principal síntoma es que en las hojas jóvenes se presentan manchas amarillas. La carencia se presenta sobre todo en suelos calcáreos. Los que a su vez se encuentran en zonas con precipitaciones bajas.

MOLIBDENO (Mo)

El Mo se encuentra básicamente en forma aniónica (MoO₄²⁻).

La disponibilidad de molibdeno está determinada en forma directa por el pH del suelo y los contenidos en óxidos de hierro y aluminio.

Cuando se realizan fertilizaciones edáficas con altas dosis de fosfatos sobre todo en suelos ácidos se favorece la absorción de Mo por la planta.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA

La deficiencia se ve como una clorosis general, empezando por las hojas viejas, que luego se enrollan y finalmente se desprenden de la planta.

CLORO (Cl)

El Cl se encuentra en la naturaleza principalmente como anión cloruro. Su contenido en el suelo, varía entre amplios márgenes (50-3,000 kg Cl/ha), dependiendo de las sales presentes como el cloruro sódico y, en menor medida, cloruro cálcico y magnésico.

Generalmente, el nivel de cloruros en los suelos es suficiente para cubrir las necesidades de las plantas.

Los cloruros provienen de:

- Descomposición de la roca madre, principalmente de las rocas ígneas.
- Degradación de restos orgánicos.
- Aportaciones realizadas por las lluvias.
- Aporte de las aguas de riego, presencia de fertilizantes y plaguicidas.

Presentan alta solubilidad y se fija con facilidad al complejo coloidal. Una pequeña parte se puede insolubilizar en forma de cloruros de plata, mercurio, cobre o plomo.

TÉCNICAS PARA CONOCER FERTILIDAD DE LOS SUELOS

A fin de reducir los efectos contaminantes, los costos de producción y elevar los rendimientos productivos, existen técnicas que permitirán conocer la fertilidad de los suelos, con lo cual se podrán realizar intervenciones adecuadas y oportunas.

Para conocer el nivel de fertilidad del suelo podemos usar dos técnicas:

- 1) Análisis de laboratorio para conocer las características físicas, químicas y biológicas del suelo (análisis de suelo) así como del cultivo (análisis foliares).
- 2) Diagnóstico en campo que permite complementar información obtenida en la técnica anterior. El objetivo es determinar profundidad efectiva del suelo, su estructura, pendiente del terreno, procesos erosivos, vegetación, manejo del área y del cultivo, áreas compactadas. Además de ello se deberá contar con información climática (precipitación, temperatura, velocidad de viento, humedad relativa, etc).

Para lograr el análisis de suelo y análisis foliar se debe muestrear. Para lo cual existen procedimientos que garantizan la confiabilidad.

Suárez, A. (1994, 1994a), recomienda en primer lugar definir el tamaño de la muestra. Espinosa, J. (2000), señala oportunamente que la precisión del análisis depende del número de submuestras tomadas para formar la muestra compuesta que irá al laboratorio. Igualmente es importante conocer la mejor época para realizar muestreos, la frecuencia, profundidad y/o parte de la planta en el caso de análisis foliar.

En la tabla siguiente se muestra el tipo de nutrientes, la época de muestreo, frecuencia y profundidad a muestrear.

Tabla 2. Muestreo de suelos

Determinaciones	Momento de muestreo	Frecuencia	Profundidad en cm
Nitratos	Previo a la siembra de los cultivos y/o en el momento decidir fertilizar	Cada vez que se realiza un cultivo	0-20, 20-40 y 40-60 ó 0-20, 20-40
Fósforo disponible	En cualquier época del año preferentemente elegir los mismos meses del año.	Cada dos años dependiendo del nivel del suelo	0-20
Materia orgánica total y joven	En cualquier época del año preferentemente elegir los mismos meses del año	Cada dos años dependiendo del nivel del suelo	0-20
Textura	En cualquier época del año	Una sola vez	0-20
Capacidad de intercambio catiónico	En cualquier época del año	Cada 5 años	0-20

Determinaciones	Momento de muestreo	Frecuencia	Profundidad en cm
pH (actual y potencial)	En cualquier época del año preferentemente elegir los mismos meses del año.	Cada dos años dependiendo del manejo	0-20 Preferentemente en capas de 20 cm hasta la tosca o napa
Conductividad eléctrica	En cualquier época del año preferentemente elegir los mismos meses del año.	Depende del origen del problema	Como mínimo tres capas de 20 cm hasta 60 cm
Humedad total del suelo	Previo a la siembra de los cultivos y/o en el momento decidir fertilizar	Cada vez que se realiza un cultivo	En capas de 20 cm hasta la tosca o napa freática

En base a estudios citados por Suárez, A (1994) se aconseja tomar de 10 a 20 submuestras para parcelas comprendidas entre 5.000 y 10.000 m². Pero esto podría también ser válido para áreas mayores si estas tienen características homogéneas en cuanto a profundidad, topografía, tipo de cultivo, manejo de cultivo y del suelo, etc (Chavarría, F. 2009).

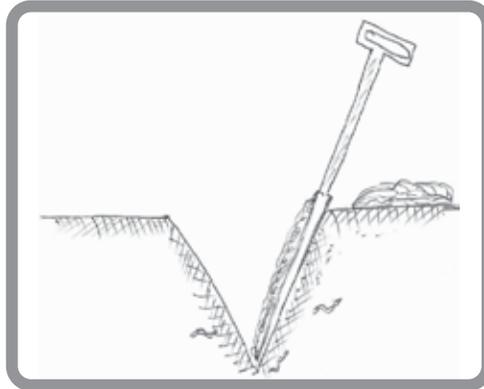
Procedimiento para muestreo de suelos

- Tomar una muestra individual de cada lote que tiene topografía, tipo o color de suelo diferente, o que haya estado sujeto a diferentes prácticas de manejo. Por lo tanto, un campo grande debe ser dividido en lotes con suelos uniformes, o en lotes con el mismo historial de cultivos, dependiendo de cada sitio en particular. A cada lote se debe asignar un número permanente de identificación y se deben registrar estos números de campo. Es aconsejable tener un mapa de las áreas de muestreo. Para la toma de muestra se puede utilizar barreno (preferible si es para propiedades físicas), si no se cuenta con ello se usa pala cuadrada.
- Usar un balde plástico limpio.
- La profundidad de muestreo para cultivos anuales es de 15 a 20 cm y de 7 a 10 cm para pastos.
- Se pueden recolectar también muestras del subsuelo para evaluar la capacidad total de suplemento de nutrientes, y para determinar si existe pérdida excesiva de nutrientes como el N.
- Recolectar al menos 20 submuestras, las que se depositarán en el balde para posteriormente formar muestra compuesta. Dependiendo de la herramienta de muestreo utilizada (barreno, pala, machete, etc.), la muestra compuesta podría pesar 500 gramos o 1 kg (dependerá de requerimiento de laboratorio).



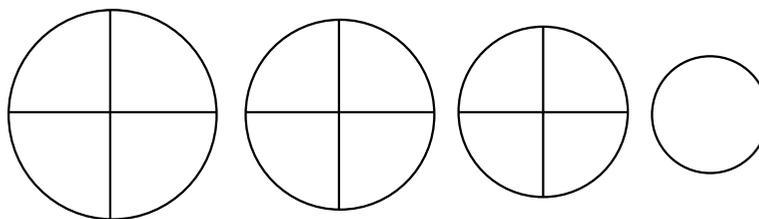
Gráfica 1. Preparación de submuestra
(Foto Cuesta, P., Villanada, E.)

Al hacer el muestreo con la ayuda de pala cuadrada se hace insertándola a profundidad deseada con un ángulo de inclinación de más o menos 45° y en forma de V (como se muestra en la gráfica 2).



Gráfica 2. Extracción de submuestra (Elaboración propia)

- Romper la estructura (terrones) con los dedos mientras se mezcla todo el suelo. Mezclar bien las submuestras, para luego proceder a separar la muestra compuesta a través del método de cuarteo (gráfica 3). Este paso es extremadamente importante. La mezcla inapropiada de las submuestras puede resultar en errores graves de muestreo.
- La muestra compuesta se deposita en doble bolsa plástica (nuevas, limpias y fuertes). La bolsa interna contiene la muestra, mientras que entre la bolsa interna y la externa se coloca la hoja de información con la identificación de la muestra.
- Llenar completamente la hoja de información con los datos pertinentes.
- Muestrear los lotes cada 2 ó 3 años... con más frecuencia si es necesario.



Gráfica 3. Método del cuarteo (Elaboración propia)

El método del cuarteo consiste en mezclar las submuestras en una superficie lisa (plástico o lona), luego dividirla en cuatro partes iguales, separar dos de las partes opuestas y mezclar las dos que quedan, dividirlas nuevamente en cuatro partes y seguir el mismo procedimiento hasta dejar más o menos los 500 gramos o el kilogramo de la muestra compuesta.

MUESTREO FOLIAR

Para que el análisis foliar sea plenamente confiable en primer lugar se debe garantizar la coherencia de los datos y que estos también sean homogéneos, es decir provengan de lotes con características similares entre sí (Suárez, A. 1994a).

T.L. Roberts y J.L. Henry (sf), señalan que los procedimientos que resultan en muestreos con altos niveles de precisión y exactitud, garantizan una muestra que representa el campo y que cuyos resultados son reproducibles.

Estudios realizados muestran que no se conseguirá mayor precisión aunque el número supere 100 submuestras, por lo que se podrían realizar muestreos confiables que incluyan 25 plantas por lotes homogéneos, tomando dos pares de hojas de cada planta (Holland *et al* 1967, citado por Suárez, A 1994a). Lo óptimo sería tomar todas las plantas en el muestreo pero eso no es práctico ni económico. Por lo que se muestrea solo una parte del lote, esta parte debe ser representativa sin necesidad de haberla escogido de manera directa. Para garantizar que la muestra no sea seleccionada por conveniencia se puede realizar dos tipos de muestreos:

- Muestreo sistemático, tomando como unidad de muestreo cada tercer o quinto surco por ejemplo.
- Muestreo al azar. Se toman las submuestras al azar dentro del sitio o unidad de muestreo definida.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Con los resultados de análisis de laboratorio tanto de suelo como foliares, se procede a interpretar. La interpretación se inicia estableciendo si el nivel de nutrientes es suficiente o no. El siguiente paso consiste en determinar porqué existe la insuficiencia específica y la forma de corregirla. Finalmente determina como prevenir que la insuficiencia aparezca en el siguiente cultivo (Espinosa, J. 2000).

Para poder interpretar los resultados se deben conocer los niveles óptimos, medios, bajos o muy bajos de nutrientes en los suelos. Los niveles de fertilidad dependerán de método que maneje el laboratorio.

Determinación de pH.

El pH del suelo se determina en agua, en una relación 1:2,5 suelo: agua de acuerdo a la metodología convencional. Los índices o categorías de pH se señalan a continuación:

Tabla 3. Rangos de pH de suelo

Rango Categoría	pH en Agua
Moderadamente ácido	< 4.5
Muy fuertemente ácido	4.6 – 5.0
Fuertemente ácido	5.1 – 5.5
Extremadamente ácido	5.6 – 6.0
Débilmente ácido	6.1 – 6.5

Determinación de fósforo (P).

El fósforo extractable se determina por el método de Olsen, utilizando bicarbonato de sodio, 1 M, a pH 8,5. Las categorías de disponibilidad corresponden a rangos expresados en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg/kg).

Tabla 4. Niveles de Fósforo

Rango Categoría	Fósforo Olsen ppm (mg/kg)
Muy bajo	< 5.0
Bajo	5.1 - 10.0
Medio	10.1 - 20.0
Alto	20.1 - 30.0
Muy alto	30.1

Determinación de bases de intercambio (Ca, Mg, K y Na)

Las bases de intercambio se determinan por extracción con acetato de amonio y analizadas por absorción atómica. Las diferentes categorías de disponibilidad se señalan a continuación:

Tabla 5. Niveles de Calcio

Rango Categoría	Calcio intercambiable Cmol (+)/kg
Muy bajo	< 2
Bajo	2.01 - 5.0
Medio	5.01 - 9.00
Alto	9.01 - 15.00
Muy alto	> 15.01

Tabla 6. Niveles de Magnesio

Rango Categoría	Magnesio intercambiable Cmol (+)/kg
Muy bajo	< 2
Bajo	0.26 - 0.50
Medio	0.51 - 1.00
Alto	1.01 - 2.00
Muy alto	> 2.01

Tabla 7. Niveles de Potasio

Rango Categoría	Magnesio intercambiable Cmol (+)/kg
Muy bajo	< 0.12
Bajo	0.13-0.25
Medio	0.26-0.51
Alto	0.52-0.64
Muy alto	> 0.65

Tabla 8. Niveles de Sodio

Rango Categoría	Sodio intercambiable Cmol (+)/kg
Muy bajo	< 0.15
Bajo	0.16-0.20
Medio	0.21-0.30
Alto	0.31-0.40
Muy alto	> 0.41

Tabla 9. Suma bases intercambiables

Rango Categoría	Suma de bases intercambiable Cmol (+)/kg
Muy bajo	< 3
Bajo	3.01-6.0
Medio	6.01-11.00
Alto	11.01-15.00
Muy alto	> 15.01

Cada catión (o base de intercambio) debe encontrarse en el complejo de intercambio entre ciertos límites relativos, que son los siguientes:

- Calcio (Ca) 60 a 80 % de la CIC*
- Magnesio (Mg) 10 a 20 % de la CIC
- Potasio (K) 2 a 6 % de la CIC
- Sodio (Na) 0 a 3 % de la CIC

PROCEDIMIENTOS PARA LOGRAR DETERMINAR CANTIDAD DE NUTRIENTES

En primer lugar se deben realizar conversiones de unidades de medida dadas en los resultados de laboratorio.

1) Conversión de ppm a Kg/ha del nutriente

Por definición, partes por millón (ppm) es el equivalente entre el peso de 1 hectárea en kilos dividido por un millón de kilos. Este valor se multiplica por el valor en ppm de los siguientes elementos reportados por el laboratorio: fósforo, azufre y elementos menores (hierro, cobre, manganeso, zinc y boro).

Kilos por hectárea = Peso (ha) x ppm del nutriente

*ppm = partes por millón = relación 1 en 1.000.000 ó 1/1.000.000

2) Conversión de Porcentaje del nutriente a Kg/ha

Este cálculo solo se aplica en el caso de nitrógeno asimilable.

Para calcular el porcentaje de N asimilables primero se calcula el Nitrógeno total (%); el cual equivale a la cantidad de materia orgánica del suelo dividida por 20. en donde veinte (20) es una Constante (por definición, de 100 partes de M.O. en el suelo, 20 corresponden al N total).

$$\% \text{ NT} = \% \text{ M.O}/20$$

En segundo lugar se calcula el N asimilable (NA), siendo que N Asimilable (%) = % NT (0.015).

El nitrógeno del suelo tiene dos componentes, N orgánico y N inorgánico. Los microorganismos del suelo hacen la conversión de la forma orgánica a inorgánica, que es la que absorben las plantas. Se estima que entre 1.5% y 3% del N total del suelo corresponde a N inorgánico; usualmente se trabaja con 1.5% o sea 0.015.

La cantidad de N por hectárea equivale a NA (%), multiplicada por el peso de 1 hectárea, dividido por 100.

$$\text{Kg / ha de N} = \text{N asimilable (\%)} \times \text{P(ha)}/100$$

3) Conversión de Miliequivalentes (Meq) o centimoles por kg (cmol+/Kg) a Kg/ha

Para esta conversión se debe tener en cuenta el peso atómico y la valencia del elemento, al igual que la densidad aparente y la profundidad de las raíces del cultivo en el área de estudio.

Para el cálculo de la cantidad de kilos/ha del elemento, se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Kg/ha} = (\text{Pa}/\text{Va}) \times \text{Dap} \times \text{PER} \times \text{Meq}/100\text{g de suelo}$$

Donde:

Pa = Peso atómico de los elementos (P = 30.97; K = 39,10; Ca = 40.08; Mg = 24.30; S = 16.03 y Cl = 35.45).

Va = Valencia de los elementos (K = 1, Ca = 2 y Mg = 2).

Dap = Densidad aparente en g/cm³

PER = Profundidad de Raíces del cultivo en cm

Meq/100 g de suelo o cmol+/kg = Resultado del análisis de suelo reportado por el laboratorio.

Ejemplo de aplicación de cálculos de nutrientes en los suelos y determinación necesidad de fertilizar.

Se cuenta con los datos siguientes:

$$\text{Dap} = 0.81 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{PER} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{pH} = 5.1$$

$$\text{Materia Orgánica} = 9.97\%$$

$$\text{P} = 24 \text{ ppm}$$

$$\text{K} = 0.35 \text{ meq}/100 \text{ gr suelo.}$$

Tomando el procedimiento resolvemos:

a) Interpretación de los resultados del análisis de suelos. Estos valores se comparan con los de las categorías para interpretación de resultados; de ello deducimos que el pH es extremadamente ácido, los valores de materia orgánica, fósforo y potasio se encuentran en rango medio.

b) Determinación de la disponibilidad de nutrientes en el suelo

Calculamos primeramente el peso de la hectárea en Kg. y posteriormente se hace la conversión de las unidades del análisis de suelo (porcentaje, ppm o mg/Kg, meq/100 de suelo o cmol+/kg) a kilogramos por hectárea.

b1) Peso (ha) = $100.000 \times Dap \times PER = 100.000 \times 0.81 \text{ g/cm}^3 \times 20 \text{ cm} = 1,620.000 \text{ Kg}$ de suelo.

Cálculo del nitrógeno:

N Total = $\% \text{ M.O}/20 = 9,7/20 = 0.535 \%$ de Nitrógeno Total

N asimilable = $NT \times 0.015 = 0.485 \times 0.015 = 0.00727\%$ de N asimilable

Cantidad de Nitrógeno asimilable = $\% \text{ NA} \times \text{Peso (ha)} = (0.00727 \times 1,620.000)/100 =$
118 Kg NA/ha

b2) Cantidad de Fósforo = $1/1,000,000 \times \text{Peso (ha)} \text{ Kg} \times \text{Fósforo (ppm)}$

= $1/1,000,000 \times 1,215,000 \times 24 \text{ ppm} =$ 38.88 Kg de P/ha.

= $38.88 \text{ Kg P/ha} \times 2.29^* =$ 89 kg P_2O_5 /ha

2.29 es el Factor de conversión para pasar Kg. de P a Kg. de P_2O_5

b3) Cantidad de potasio = $Pa/Va \times Dap \times PER \text{ (cm)} \times K \text{ (Meq/100 g del análisis del suelo)}$

= $39/1 \times 0.81 \text{ g/cm}^3 \times 20 \text{ cm} \times 0.35 \text{ Meq/100 g suelo} =$ 221 kg K/ha

= $221 \text{ Kg/ha de K} \times 1.21 =$ 267.4 Kg de K_2O /ha

1.21 es el Factor de conversión para pasar kg de K a Kg de K_2O

4. CAPACIDAD DE USOS DE SUELO

Los suelos como todo ser vivo se encuentra en constante cambio (Jenny *et al* citado por Chavarría, F 2009), muchas veces los cambios degradativos y ocasionados por el hombre o la misma naturaleza.

Los suelos sufren cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Dichos cambios afectan positiva o negativamente los usos de los suelos.

Se hace necesario la aplicación de sistema de evaluación de la aptitud de uso de los suelos que utilice parámetros objetivos y que pueda ser aplicado en cualquier escala, desde el reconocimiento hasta el planeamiento individual de propiedades, que sea adecuado a las condiciones locales y que considere los aspectos económicos involucrados en cada tipo de uso de la tierra, así como que sea aplicable a la mayoría de las situaciones de disponibilidad de recursos naturales.

Resende *et al.*, 1995 (citado por Chavarría, F 2009) menciona que en la clasificación de suelos, los casos individuales son agrupados en función de pocas características de interés práctico y específico, relacionadas sobre todo con el comportamiento agrícola de los suelos, involucrando los aspectos físicos y socio-económicos y resultando así un trabajo de naturaleza interdisciplinaria.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE USO

El Sistema fue estructurado por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos, desarrollado por Klingebiel y Montgomery (1961) y adaptado y divulgado en Brasil por Marques (1971). Después fueron efectuadas otras aproximaciones, como las hechas por Lepsch (1983) y Lepsch (1991).

Lepsch (1991) recomienda la utilización de este sistema para fines de planeamiento de prácticas de conservación del suelo, al nivel de propiedades o empresas agrícolas, o para pequeñas cuencas hidrográficas. En caso de uso para otras finalidades, como en el caso de estudios regionales, debe ser hecho con adaptaciones y con acompañamiento de estudios que consideren las condiciones socioeconómicas y aptitud agroclimática de los cultivos.

El sistema está basado en interpretación de las características y propiedades intrínsecas del suelo, así como del medio físico y el nivel tecnológico que poseen los agricultores. De esta forma, el sistema toma en cuenta las limitaciones permanentes de la tierra, relacionándolas con las posibilidades y limitaciones de uso de la misma.

Este sistema es jerarquizado de la siguiente forma:

- a. Grupos de capacidad de uso (A, B y C): establecidos en base a los tipos de intensidad del uso de las tierras.

- b. Clases de capacidad de uso (I a VIII): basadas en el grado de limitación del uso.
- c. Subclases de capacidad de uso (Ile, IIle, IIIa, etc.): basadas en la naturaleza de la limitación del uso.
- d. Unidades de capacidad de uso (Ile-1, Ile-2, IIIa-1, etc.): basadas en condiciones específicas que afectan el uso o manejo de la tierra.

Son por lo tanto ocho clases organizadas en tres grupos, con la intensidad de uso en escala decreciente de I a VIII. El grupo A contiene tierras cultivables con cultivos anuales, perennes, pasturas y/o reforestación y/o vida silvestre, comprendiendo las clases I, II, III y IV. El grupo B comprende tierras adaptadas a las pasturas y/o reforestación y/o vida silvestre, incluyendo las clases V, VI y VII. El grupo C son tierras no cultivables, pero apropiadas para protección de la flora y de la fauna silvestre, recreación y almacenamiento de agua, abarcando la clase VIII.

Las clases II a VII, excepto la V, son subdivididas en subclases en función de sus limitaciones permanentes, relacionadas con erosión (e), suelo (s), agua (a) y clima (c). Las unidades de capacidad de uso tornan más explícita la naturaleza de las limitaciones, o sea, facilitan el proceso de establecimiento de las prácticas de manejo.

El grupo de capacidad. Es un agrupamiento de una o más unidades de mapeos que tienen potencialidades similares así como también limitantes y riesgos permanentes.

Clase de capacidad: son grupos de subclase o unidades que presentan el mismo grado relativo de riesgos o limitaciones. Las limitaciones del suelo en cuanto al uso aumentan progresivamente desde la clase I hasta VIII.

La clase de capacidad se basa en la interpretación de las propiedades del suelo y de sus características asociadas. Las propiedades de los suelos que afectan su capacidad de uso, se infieren de su morfología y de sus características asociadas (pendiente, erosión actual, pedregosidad y riesgo de inundación).

Las propiedades que se infieren son: Riesgo de erosión, riesgo de sequía, drenaje y fertilidad.

LAS CLASES DE SUELO SEGÚN USDA SON:

Clase I a IV: En estas clases se encuentran los suelos que permiten ser arados para facilitar la emergencia y labores de manejo de los cultivos. Las clases se agrupan de acuerdo a potencialidades y limitaciones. Se prestan para una producción continua de cultivos que no requieren de tratamientos particulares.

Clase V a VIII: En estas clases se encuentran los suelos que no permiten aradura. Se agrupan de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones para el establecimiento de cultivos perennes y a los riesgos de destrucción y daño si son mal manejados.

ABORDAJE DE CADA UNA DE LAS CLASES DE SUELOS

Clase I: Son suelos bastante profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena retención de agua y buena fertilidad. Se pueden trabajar sin limitaciones más que el manejo de fertilidad y cuidado ante daño por procesos erosivos.

Clase II: Son suelos con limitantes moderadas, sobre todo por el riesgo de erosión, pero que son subsanables con algunas prácticas agronómicas y culturales como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas Ganaderas (BPG).

Dentro de las limitaciones que presentan los suelos de esta clase se encuentran: Contenido moderado de sodio, pendientes suaves, poca profundidad, estructura desfavorable, ocasionales inundaciones y desfavorable laborabilidad.

Clase III: Los suelos de esta clase presentan limitaciones severas. Tienen alto riesgo de erosión y por lo tanto requieren de la aplicación de técnicas especiales de protección. Poseen pendientes moderadas, poca profundidad de suelo, baja fertilidad, baja retención de humedad y frecuentes inundaciones.

Clase IV: Limitantes muy severas. Se pueden usar para cultivos densos, usando laboreo convencional. Es recomendable mantenerlos cubiertos con pasturas sin laboreo convencional cuando hay riesgo elevado de erosión.

Las limitantes pueden ser: Inundaciones, pendientes muy pronunciadas, elevada sodicidad o salinidad, baja retención de humedad, alto riesgo de erosión.

Clase V: Mal drenaje, Pedregosidad. Presentan bajo riesgo de erosión si son cubiertos por pastizales o bosques. Suelen tener riesgo de erosión.

La realización de obras de drenaje puede cambiar su capacidad de uso. Haciendo que los suelos tengan un uso agrícola o pecuario.

Clase VI: Suelos con muy alto riesgo de erosión y sequía. Se encuentran por lo general en áreas con fuertes pendientes. Son suelos superficiales. Cuando se encuentran en pendientes que así lo permitan pueden ser utilizados para pastoreo teniendo el cuidado de evitar sobrepastoreo y garantizar que se establezcan sistemas silvopastoriles (en cualquiera de sus modalidades).

Clase VII: Grandes limitaciones para su uso, para pastoreo o bosques. Son suelos pantanosos, o con fuertes pendientes, suelos superficiales, alto contenido de sodio, pedregosidad alta.

Clase VIII: Suelos sin uso productivo agropecuario. Pueden usarse para recreación (playas), o como canteras o bien áreas de reserva.

C Ejercitación

TRABAJO EN EQUIPO

1) En equipos de trabajo conformados por no más de cuatro compañeros, resolvamos lo siguiente:

Calcule los requerimientos de fertilizantes de una hectárea establecida con café en plena producción. Sabiendo que los resultados del análisis de suelos fueron los siguientes:

Densidad aparente = 1.25 g/cm^3
Profundidad de muestreo = 25 cm.

pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C	
		Cmol (+)/kg-			mg/kg-						%	%
6.2	0.12	10.51	2.80	0.24	4.1	12.5	5.5	40	133	0.34	3.47	

Los datos corresponden a resultados de análisis de laboratorio (CATIE-Turrialba Costa Rica) sobre una área productiva de café en el Municipio El Cúa, Departamento de Jinotega.

2) Una vez resuelto el problema, expondremos ante nuestros compañeros los resultados.

IMPORTANTE

Luego de realizar la exposición, si se diera el caso de que el auditorio le planteara preguntas, pueden responder los miembros del equipo de trabajo.

Se sugiere que se tomen notas de aportes del plenario a la exposición de su grupo.

Incorpore al informe los aportes que crea pertinente.

D *Aplicación*

TRABAJO EN EQUIPO

Con la participación de los compañeros del grupo, resolvamos sobre lo siguiente:

- 1) Un productor que posee 10 hectáreas de cultivo, ha enviado muestras de suelo a laboratorio y en base a los resultados se le recomienda fertilizar con 45 kg de P/ha y 72 kg de N/ha. Si dispone de fosfato diamónico (fórmula 18-46-0) y Urea al 46 % (46-0-0).

¿Cuánto fertilizante debe aplicar?

¿En qué proporción deberá hacerlo?

¿Cuándo debería realizar las aplicaciones? ¿Porqué?

- 2) Un suelo que ha sido cultivado durante 8 años consecutivos, fue muestreado y enviada las muestras a laboratorio, resultando que posee las características químicas siguientes:

- Materia Orgánica: Antes 6%; ahora 2.5%.
- CIC: Antes 20; ahora 10 meq/100 gr.
- Porcentaje de saturación de bases: Antes 70%; ahora 45%.
- K intercambiable: Antes 20%; ahora 12%.
- P total: Antes 750; ahora 450 ppm.
- Densidad aparente: 1,25 g/cm³.
- Capa arable: 20 cm.

En base a datos anteriores calcular:

- ¿Cuántos kg de materia orgánica por hectárea se han perdido?
- ¿Cuánto potasio había antes y cuanto hay ahora. Mostrar datos en meq/100 g y en kg de K/ha?
- ¿Cuánto Kg de P total/ha se ha perdido en los años de uso?

EN PLENARIA:

El relator del grupo o a quien haya seleccionado el grupo se encargará de exponer las conclusiones de nuestro equipo de trabajo con respecto a la asignación.

Los integrantes del equipo de trabajo responderemos a inquietudes del plenario.

Los miembros de los grupos de trabajo debemos incorporar al informe los aportes obtenidos de otras exposiciones o señalamientos hechos por el plenario.

Con ayuda del docente se aclararán dudas que hayan surgido luego de la exposición.

E *Complementación*

TRABAJO INDIVIDUAL

1) Con ayuda de Internet o material bibliográfico de la biblioteca. Investiguemos:

- a) ¿Qué síntomas de deficiencia de N se presentan en los cultivos?
- b) ¿Qué síntomas de deficiencia de P se presentan en los cultivos?
- c) ¿Qué síntomas de deficiencia de K se presentan en los cultivos?
- d) ¿Cómo podemos mejorar la fertilidad de nuestros suelos?

Podemos consultar bibliografía en la biblioteca o bien hacer uso de sitios en Internet.

Consultar: <http://ipni.com>
<http://web.usal.es/javisan/hidro/practicas>

BIBLIOGRAFÍA

- CHAVARRÍA, F. (2009). Curso de Suelos II. UNAN Managua.
- ESPINOSA, J. (2000). Análisis Foliar: Fundamentos y Métodos de Evaluación. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. FENALCE. Bogotá, Colombia.
- LÓPEZ, R.J. y LÓPEZ, M.J. (1990). El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ed. Mundi-Prensa 4ª Ed. 363 p. Madrid.
- MUÑOZ, P.A. y VILLANADA, E. (sf). El análisis de suelos: Toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera.
- RAMÍREZ, F. (2005). Muestreo de Suelos. INTA, Costa Rica.
- ROBERTS, T.L y HENRY, J.L. (sf). El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo.
- SÁNCHEZ, B.; RUIZ, M. y RÍOS, M.M. 1992. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, Estado Aragua.
- SUÁREZ, A (1994). Manual de Técnicas de Muestreo Foliar para Recomendación de Fertilización. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Cortés, Honduras.
- SUÁREZ, A. (1994a). Manual de Técnicas de Muestreo Foliar para Recomendación de Fertilización. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Cortés, Honduras.
- VILLANUEVA, G.; OSINAGA, R.; CHÁVEZ, A. 2004. El Uso Sustentable de los Suelos. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.



UNIDAD 4

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Clasificar y evaluar el suelo brindando elementos clave para su conservación.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

- Clasifica los suelos de acuerdo a sus características físicas y químicas y propone acciones para su apropiada utilización y conservación.

TRABAJO EN EQUIPO

- 1) Organicémonos en grupos de trabajo y resolvamos las actividades que se nos han asignado. Para ello elijamos a un relator y un moderador para que garanticemos que todos podamos participar.
- 2) Juntos, leamos y analicemos el párrafo siguiente.

La clasificación en cualquier rama de las ciencias naturales es un tema altamente conflictivo. De esto no escapa la Sistemática de Suelos. Lo que se debe a dos causas principales. Siendo una de ellas que los suelos presenta unos caracteres muy particulares. Los suelos forman en la naturaleza un verdadero conjunto continuo. La separación entre las unidades es gradual, la mayor parte de las veces, y los suelos no se derivan los unos de los otros, por lo menos en el sentido en que lo hacen los vegetales y los animales. De esta manera no se puede aplicar ni el sentido de la similitud máxima en el interior de las unidades, ni el parentesco y ni la filiación. Otra de las causas que ocasiona mayor complejidad en la clasificación de los suelos es que además de clasificar las unidades superiores, agrupar a los grandes tipos de suelos mundiales, suministrar un cuadro general que sirva de base a la Edafología, debe proporcionar a los cartógrafos un instrumento cómodo que permita la cartografía a gran escala, para estudios muy detallados de pequeñas áreas de terreno (a nivel de clase), con finalidades prácticas.

En compañía de los miembros de su equipo de trabajo de no más de cuatro compañeros de respuestas a lo siguiente:

- 1) ¿Cómo podríamos clasificar a los suelos de nuestra comunidad?
- 2) ¿Qué características podríamos considerar para clasificar a los suelos de nuestras parcelas?
- 3) ¿Por qué es necesario que podamos clasificar los suelos?
- 4) ¿Conocemos de algún estudio que clasifique los suelos de nuestra comunidad o al menos a nivel de provincia o departamento?

EN PLENARIA

- 1) El relator expone ante el plenario los aportes que como grupo hemos hecho.
- 2) Junto a nuestro relator respondemos a inquietudes del plenario.

3) Tomamos apuntes sobre las exposiciones de los grupos restantes de la clase.

B *Fundamentación Científica*

TRABAJO EN EQUIPO:

Junto a nuestros compañeros de grupo, realizamos lo siguiente.

- 1) El coordinador de nuestro subgrupo, leerá en voz alta parte del texto que nos haya sido asignado por el docente.
- 2) Los integrantes del subgrupo escuchamos con mucha atención a la lectura y tomamos apuntes sobre los aspectos más importantes.

1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Como se mencionaba al inicio de esta unidad, existen muchas contradicciones para poder clasificar de manera homogénea los suelos, lo que ha dado lugar a que existan numerosas clasificaciones de suelos, las que han sido desarrolladas bajo muy diferentes puntos de vista. Históricamente podemos destacar las siguientes.

- Fallou creó una de las primeras clasificaciones con base a la geología (en función del tipo de roca madre).
- Gedroitz en base a química o sea al grado de saturación del complejo absorbente.
- Von Sigmond siempre en base a la química pero sobre todo a catión dominante del complejo absorbente.
- Pallman en base a la química pero observando la intensidad, dirección y elementos del lavado.
- Con base climática: Dokuchaiev, clasificó a los suelos en zonales (evolución dependiente del clima), en suelos intrazonales (evolución independiente del clima) y suelos azonales (poco evolucionados, no se conoce todavía como será su evolución).
- Con bases mixtas: se utilizan caracteres diferenciadores de distinto tipo.
- Con bases genéticas: observa el grado de desarrollo del perfil, grado de alteración, tipos de humus, hidromorfía, propiedades químicas, mineralogía, entre otros.

1.1 PRINCIPALES CLASIFICACIONES DE SUELOS

- a) Clasificación de Kubiena constituye la primera clasificación moderna (1953). Caracteres diferenciadores: horizonación, morfología, física, química y micromorfología. Es una clasificación muy didáctica, las clases van desde los suelos poco evolucionados a los de mayor evolución. Establece tres grandes divisiones: subacuáticos (debajo de capas de agua), semiterrestres (con hidromorfía) y terrestres (para los suelos normales). Las clases se encuentran minuciosamente descritas y espléndidamente ilustradas. Se trata de una clasificación muy importante que marcó un hito en su tiempo aunque hoy ha quedado totalmente obsoleta.
- b) Clasificación francesa, que data de 1967. En líneas generales sigue la de Kubiena aunque con bases más modernas. Hoy se puede considerar también en desuso.
- c) Con bases morfométricas: utilizan propiedades medibles del suelo, bien directamente en el perfil o analizando muestras en el laboratorio. Representa actualmente la tendencia más aceptada en las modernas clasificaciones de suelos, como la Soil Taxonomy y la de la FAO/UNESCO.
- d) En España la única genuina clasificación de suelos fue presentada por Huguet del Villar en 1927. Se publica en su célebre libro, "España en el mapa internacional de suelos"; al que siguieron "Suelos de España" (1929) y "Los suelos de la península Luso-Ibérica" (1937; edición internacional en castellano e inglés). A pesar de esta pionera investigación los trabajos posteriores de los edafólogos españoles no se han materializado en el establecimiento de ninguna clasificación propia para los suelos de nuestro país.
- e) Otras clasificaciones importantes han sido la clasificación alemana, la rusa, la canadiense y la australiana.

Tomando en consideración sus aportes y facilidad de aplicación existe en la actualidad la tendencia a utilizar dos clasificaciones que pueden ser calificadas como internacionales, estas son la Soil Taxonomy, presentada por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos, y la desarrollada por la FAO/UNESCO para la obtención de un mapa de suelos a nivel mundial. Las clasificaciones de carácter nacional están siendo abandonadas o utilizadas con carácter complementario de estas dos clasificaciones globales.

Tanto la Soil Taxonomy como la desarrollada por la FAO/UNESCO utilizan como caracteres diferenciadores a propiedades del suelo medibles cuantitativamente. Además estos caracteres diferenciadores son muy numerosos, de manera que las clases establecidas quedan definidas de una manera muy rigurosa y precisa. Al utilizar criterios cuantitativos, las clases definidas resultan ser mutuamente excluyentes.

Ambas clasificaciones evitan al máximo la subjetividad, a diferencia de lo que ocurría con las clasificaciones que las han precedido.

Las clasificaciones se hacen más confiables por las siguientes razones:

- Al utilizar siempre propiedades que pueden ser cuantificadas de alguna manera. Aquellos criterios de “alto contenido en materia orgánica”, “pobres en bases”, etc., que se prestaban a una enorme confusión, (por ejemplo, el término “alto” se interpretaba de muy distinta manera en función de los suelos a que cada investigador estaba acostumbrado) han sido sustituidos por “porcentaje en materia orgánica superior al 1%”, “grado de saturación < 50%”, etc.
- Se evitan las consideraciones genéticas, que al ser subjetivas de distintas interpretaciones pueden crear confusiones. No obstante, dada la importancia de los procesos de formación del suelo, se utilizan como caracteres diferenciadores a aquellas propiedades que son el resultado directo de la actuación de estos procesos. Es por ello que aunque estrictamente hablando se trata de clasificaciones morfométricas, las podemos calificar como morfogenéticas.
- Se refieren tanto a los suelos vírgenes como a los agrícolas.

La nomenclatura ABC utilizada en las anteriores clasificaciones está definida sobre criterios genéticos cualitativos, lo que provoca importantes disparidades de uso entre los edafólogos. Para evitar este inconveniente el Soil Survey Staff de USA introdujo el concepto de horizontes diagnósticos, cuyo uso se ha impuesto en todo el mundo.

Un horizonte diagnóstico es un horizonte definido morfométricamente, con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, para su utilización en la clasificación del suelo.

Por otra parte existen otros caracteres diferenciadores que no son horizontes y son llamadas propiedades diagnósticas. Son elementos esenciales para la clasificación y son definidos de manera similar a como se hace con los horizontes diagnósticos.

Aunque con jerarquías y desarrollos absolutamente distintos, básicamente estas dos clasificaciones utilizan la misma filosofía: el empleo de horizontes diagnósticos como claves de clasificación y de propiedades diagnósticas como caracteres diferenciadores de menor rango.

Los horizontes diagnósticos y propiedades diagnósticas no son todos comunes para ambas clasificaciones. Tampoco las definiciones de los horizontes y propiedades están definidos exactamente de la misma manera en ambos sistemas.

La FAO ha optado para la denominación de sus clases de nombres populares, utilizados en clasificaciones anteriores (se han descartado todos los términos populares que se prestasen a confusión, por ej., suelos pardos, suelos áridos, etc). También otra diferencia con respecto a la Soil Taxonomy radica en la ausencia de los regímenes de humedad y temperatura de uso tan frecuente en la clasificación americana.

La FAO/UNESCO ha desarrollado dos sistemas para trabajar con suelos:

- a) El “Legend of the Soil Map of the World” fue establecido en 1974 y posteriormente fue revisado “Revised legend of the Soil Map of the World” en 1988. En un principio la clasificación FAO fue diseñada para proporcionar un arma de trabajo común para todos los edafólogos del planeta. Concretamente como leyenda de un Mapa Mundial de Suelos, de escala pequeña (1:5.000.000), para realizar una primera valoración de los recursos edáficos del mundo. Fue pues elaborada para trabajar con escalas pequeñas (mapas generales). Representa un sistema de clasificación bastante intuitivo, muy eficaz desde un punto de vista didáctico y muy útil para estudios no muy detallados de suelos.
- b) La FAO/UNESCO (1998) introdujo profundas modificaciones en su esquema de clasificación desarrollando el “World Reference Base for Soil Resources”. En esta Base de Referencia para los Suelos del Mundo aunque se continúa con el esquema básico definido por la primitiva Leyenda para el Mapa Mundial de Suelos (1974/1988) se han introducido profundos cambios en todos sus niveles (Horizontes diagnósticos, propiedades diagnósticas, materiales diagnósticos, grupos de suelos y unidades de suelos).

En base a estudios del CRIES (The Comprehensive Resources Inventory and Evaluation System), se presentan las características de las principales órdenes de suelos.

SUELOS VERTISOLES (SONZOCUITE)

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor, muy arcillosos, que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas y durante la estación lluviosa se expanden, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos (que no tienen contacto rocoso a menos de 50 cm. de profundidad), la fertilidad del suelo es de alta a baja, formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0-8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15%.



Figura 1: Perfil mostrando un suelo Vertisol (Fuente EUMEX)

DRENAJE:

El drenaje natural de estos suelos es de imperfecto a moderado, pobre y muy pobre.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Las características del orden de los Vertisoles son: la textura del horizonte superficial varía de franco arcilloso a arcilloso pesado, con colores que gradan de negro a gris oscuro y es de poco espesor, con un subsuelo de textura muy arcilloso (con > 60% de contenido

de la fracción arcilla, principalmente montmorillonita) y colores gris oscuros; son suelos de muy profundos a moderadamente profundos (60 a > 120 cm.).

Los vertisoles en épocas secas se contraen y forman grietas anchas y profundas (1 cm. o más de ancho y hasta 1 m o más de profundidad) y en épocas lluviosas se expanden; generalmente presentan macro relieve de planicie depresional y micro relieves por la gran cantidad de arcillas.

Las grietas permanecen abiertas (a menos que estén irrigados) por 90 días acumulativos o más durante el año, pero no durante todo el año. Son extensivos en depresiones, llanos y en planicies con escurrimiento superficial lento.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

El contenido de materia orgánica en los Vertisoles tiene valores de moderadamente alto a bajo, el pH es de extremadamente ácido a ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico es de muy alto a medio, tienen altos contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), el porcentaje de la saturación de bases es alto y muestran diferencias en el porcentaje de carbonatos.

USO POTENCIAL:

Debido a las limitaciones texturales y de drenaje interno estos suelos en su gran mayoría son adecuados, con riego, para cultivos como arroz, caña de azúcar, sorgo y bosques de explotación.

SUELOS ENTISOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos, la mayoría no poseen el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros (epipedón ócrico) u oscuros (epipedón úmbrico), la profundidad varía de profundos a muy superficiales, relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

DRENAJE:

El drenaje interno de estos suelos varía de excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Las texturas tanto superficiales como del subsuelo varían de arenosas a arcillosas, con colores que van desde oscuros a pardos. Las profundidades son de muy superficiales a superficiales (< 25–40 cm.) en relieves escarpados y sujetos a erosión activa; muy



Figura 2: Perfil de suelo Entisol
(Fuente EUMEX)

superficiales a profundos (< 25 a > 90 cm.) en las planicies, con un contacto lítico (rocoso) a menos de 50 cm. de profundidad, o con un subsuelo de gran espesor que no tiene evidencia de desarrollo y que presenta texturas gruesas, con granulometría variable, con o sin fragmentos gruesos dentro del perfil del suelo o sobre la superficie. El nivel freático oscila de muy superficial a muy profundo e inundaciones muy frecuentes y prolongadas en algunas áreas durante la estación lluviosa.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

El contenido de materia orgánica en estos suelos varía de alto a bajo, el pH es de extremadamente ácido a medianamente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico tiene valores de medio a muy bajo y el por ciento de saturación de bases es de alto a bajo.

USO POTENCIAL:

Estos suelos no son recomendables para cultivos agrícolas, su uso adecuado es Forestal o Vegetación natural, variedades de pastos adaptables a las condiciones y conservación de la flora y la fauna.

SUELOS INCEPTISOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos minerales de desarrollo incipiente, de poco profundos a muy profundos; el horizonte superficial es de colores claros (epipedón ócrico) o de colores oscuros (epipedón úmbrico) y el subsuelo tiene un horizonte alterado (horizonte cámbico) de textura franco arenosa muy fina a arcillosa, con estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen; con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas, donde el contenido de aluminio fluctúa de alto a medio. Se presentan en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad se presenta de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales, coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y ácidas.

DRENAJE:

El drenaje natural interno de estos suelos varía de muy pobre a bien drenados y el nivel freático de muy superficial a muy profundo, con inundaciones ocasionales o prolongadas durante las épocas lluviosas.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

La textura superficial de estos suelos varía de acuerdo a su ubicación: sus texturas son de arena franca hasta arcillosa, con coloraciones de pardo a pardo rojizo y pardo grisáceo; pero en zonas lluviosas es generalmente de franco arcilloso a arcilloso, con coloraciones de pardo claro a pardo rojizo y grisáceo, esto se debe al Hidromorfismo; en cambio en las zonas secas o menos lluviosas su textura y coloración es franco arcilloso y franco



Figura 3: Fotografía de Inceptisol
(Fuente EUMEX)

arcillo arenoso, pardo oscuro y en algunos casos con coloraciones pardo rojizo oscuro, las profundidades son de poco profundo a muy profundo (60 a > 120 cm.). En algunas áreas donde se encuentran estos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

El contenido de materia orgánica en estos suelos es de muy alto a muy bajo, el pH varía de extremadamente ácido a neutro, la capacidad de intercambio catiónico es de muy bajo a alto y el porcentaje de saturación de base de muy bajo a alto.

USO POTENCIAL:

Estos suelos son aptos para un gran número de cultivos como algodón, ajonjolí, cacao, maní, maíz, hortalizas, banano, plátano, piña, café, cítricos. En algunos casos por riesgo o susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica y/o eólica se recomiendan para bosques o reforestación en su defecto y en otros casos debido a deficiencias del drenaje interno de los suelos, presencia de tabla de agua alta, inundaciones frecuentes y prolongadas, fertilidad del suelo muy baja o relieve con pendientes del terreno muy pronunciadas es recomendado para protección de la flora y la fauna.

Estos suelos son aptos para cultivos anuales y semiperennes, perennes y bosque, en tierras con pendientes < 15%, en pendiente de hasta 30% para silvopastura, agroforestería y bosques, en pendiente de hasta 50% agroforestería y bosque, en pendientes > 50% para bosque de protección y conservación.

SUELOS MOLLISOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos minerales con estado de desarrollo: incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón móllico) de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (un horizonte argílico, o un horizonte cámbico cargado de arcilla); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas.

DRENAJE:

El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado, el nivel freático se encuentra bastante superficial durante la estación lluviosa en algunas áreas

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Las características de estos suelos son: texturas del suelo y subsuelo de franco arenoso a franco arcilloso y arcilloso, con colores que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y



Figura 4: Suelo del orden Mollisol
(Fuente EUMEX)

pardo oscuro; son poco profundos a muy profundos (60 a > 120 cm.), en algunas áreas se encuentra una o varias capa de talpetate de diferentes colores y grados de cementación, a diferentes profundidades, otros poseen piedras en la superficie y gravas en el perfil

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

El contenido de materia orgánica es de muy bajo a alto, el pH es de fuertemente ácido a muy fuertemente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de bajo a alto y el porcentaje de saturación de bases es de bajo a alto.

USO POTENCIAL:

De acuerdo a las características edafológicas y climáticas estos suelos están aptos para cultivos como algodón, ajonjolí, maní, maíz, sorgo, arroz, caña de azúcar, estos cultivos son adecuados para pendientes con rangos de 0–15% tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 15–30% son apropiados para cultivos como pastos, piña, algunos frutales, silvopasturas, agroforestería y bosque. Los suelos con rangos de pendientes de 30–50% son para bosques de explotación, bosque de protección, bosque de conservación y para agroforestería. Los suelos con pendientes > 50% son apropiados únicamente para bosque de protección y conservación de la flora y fauna.

SUELOS ALFISOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Suelos minerales maduros, bien desarrollados. Con un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (horizonte argílico); de muy profundos a pocos profundo (60 a > 120 cm.). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas.

DRENAJE:

El drenaje interno en estos suelos varía de pobre, moderado a bien drenados, encontrándose en algunas áreas, durante épocas lluviosas, el nivel freático fluctuante a una profundidad de 20 cm.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Las Características de estos suelos son: texturas de arcillosos a franco arcillosos y franco arenosos, con colores que varían de pardo grisáceo muy oscuro a pardo rojizo y pardo amarillento, volviéndose a más claro a mayor profundidad; el drenaje interno del suelo varía de pobre a bien drenados, con profundidades que varían de muy profundo a poco profundo.



Figura 5: Suelo del orden Alfisol
(Fuente EUMEX)

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Las Características de estos suelos son: el contenido de materia orgánica varía de alto a muy bajo, el pH es de muy fuertemente ácido a neutro, con un porcentaje de saturación de bases que oscila de alto a bajo y presentan una capacidad de intercambio catiónico de alto a muy bajo.

USO POTENCIAL:

Estos suelos están aptos para cultivos como maíz, sorgo, ajonjolí, caña de azúcar, yuca, arroz, plátano, piña, etc., en pendientes con rangos de 0–15% tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo; algunas áreas con problemas de drenaje interno del suelo (imperfecto y pobre) son aptos para pastos. Los suelos con rangos de pendientes de 15–30% son apropiados para cultivos como pastos, piña, algunos frutales, silvopasturas, agroforestería, con prácticas de conservación de; bosques de producción, protección y conservación, con sus debidos planes de manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería, con sus prácticas de conservación; bosque de explotación, bosque de protección y bosque de conservación y los suelos con pendientes > 50% son aptos únicamente para bosques de protección y conservación, en todos los casos con sus respectivos planes de manejo forestal.

SUELOS ULTISOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos que tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad natural tiene valores de baja a media, con un contenido variable de aluminio, se han desarrollado de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales.

DRENAJE:

El drenaje interno natural de estos suelos varía de imperfecto a bien drenados, en algunas áreas donde el drenaje natural es imperfecto el nivel freático en épocas lluviosas se mantiene entre los 40–50 cm. de profundidad para bajar a más de un metro de profundidad en épocas seca.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Los Ultisoles presentan las siguientes características morfológicas: texturas superficiales franco arcilloso y arcilloso, textura del subsuelo de arcilloso a muy arcilloso; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del Hidromorfismo de gris pardusco claro a gris claro.



Figura 6: Suelo del orden Ultisol
(Fuente EUMEX)

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICA:

Valores de muy fuertemente ácido a medianamente ácido, el porcentaje de saturación de bases es de muy bajo a medio, la capacidad de intercambio catiónico es de bajo a medio, el porcentaje de aluminio intercambiable es de bajo a muy alto, el porcentaje de hierro libre es de alto a bajo y el porcentaje de fósforo asimilable es de bajo a medio.

USO POTENCIAL:

De acuerdo a sus Características edafoclimáticas estos suelos, en tierras en pendientes con rangos < 15%, son aptos para cultivos anuales como sorgo, maíz, hortalizas, algodón, frijoles, arroz, yuca; para cultivos semiperennes como caña de azúcar, banano, plátano, piña; para cultivos perennes como frutales, cítricos, palma africana, pastos y bosque; con sus respectivas prácticas de conservación y planes de manejo forestal. Los suelos con pendientes de hasta 30% son aptos para manejo silvopastoril, agroforestal y bosque, con sus prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería y bosque, con prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes > 50% son aptos para bosques de protección o conservación de la flora y la fauna

SUELOS OXISOLES**CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

Son suelos minerales seniles, en la última etapa de intemperización química, con un horizonte superficial de colores claros que descansa sobre un subsuelo muy grueso de color rojo amarillento, muy profundos, moderadamente estructurado, con altas concentraciones de Hierro (Fe) y Aluminio (Al), bien drenados, muy ácidos, con un alto contenido en aluminio intercambiable, de relieve ondulado a escarpado, fertilidad muy baja, desarrollados de rocas ultrabásicas (diabasa o basalto ultrabásico).

DRENAJE:

El drenaje interno de estos suelos es bueno, la permeabilidad es rápida debido al alto grado de porosidad.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

Tienen un horizonte superficial delgado (óxico), arcilloso, de color rojo amarillento y con estructura moderada y en el subsuelo presenta un horizonte óxico muy grueso (110 cm.), arcilloso, de color rojo amarillento, con estructura moderada a débil, que sobreyace a un horizonte grueso (> 60 cm.), arcilloso, de color rojo, con veteados pardos a pardo oscuro, sin estructura definida.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Tienen un contenido de materia orgánica moderadamente alto en el primer horizonte, moderado en el segundo horizonte y bajo en el tercer horizonte, el pH es muy fuertemente ácido en los dos primeros horizontes y fuertemente ácido en el tercer horizonte. La capacidad de intercambio catiónico es bajo en el primer horizonte y muy bajo en el resto del perfil, la saturación de bases es muy baja en todos los horizontes. El fósforo asimilable y el potasio son bajos en todos los horizontes.

USO POTENCIAL:

Los Oxisoles presentan severas limitaciones para fines agropecuarios. Todo intento de mejoramiento resultaría antieconómico, debido al excesivo lavado de nutrientes del suelo y el alto riesgo de desencadenar procesos de erosión irreversible, por lo que se recomienda dejarlo como reserva forestal, con fines de conservación de la flora y la fauna y determinar el manejo adecuado.

SUELOS HISTOSOLES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Son suelos orgánicos muy profundos con un horizonte superficial de gran espesor, que contiene más del 20% de materia orgánica, por el alto contenido de tejido orgánico; con drenaje interno pobre a muy pobre, en relieve plano depresional y áreas pantanosas, con fertilidad baja a alta, desarrollados a partir de acumulación depósitos orgánicos y sedimentos lacustres y fluviales. La mayor parte del año, tienen el nivel freático en o sobre la superficie del suelo.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS:

El espesor del horizonte orgánico es muy variable (40–80 cm.), de textura franco limoso a franco arcillo limoso, de color negro y sin estructura definida; el horizonte subsuperficial permanece casi siempre saturado con agua, es muy grueso (> 150 cm.), franco arcillo limoso a arcillo limoso, de color negro, sin estructura.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

El contenido de materia orgánica decrece con la profundidad de muy alto a medio, con un pH que es de muy fuertemente ácido a fuertemente ácido, la capacidad de intercambio catiónico es alta; el hierro, el aluminio y el fósforo son bajos, el potasio varía de medio a bajo y el porcentaje de la saturación de bases es muy alta.

USO POTENCIAL:

Debido a que se encuentran inundadas la mayor parte del año y saturados permanentemente de humedad, se recomiendan para protección de la fauna.



Figura 7: Suelo del orden Histosol (Fuente EUMEX)

Tabla 1. Referencia de Grupos de Suelos

1. Suelos con gruesos horizontes orgánicos	Histosoles
2. Suelos intensamente influenciados por la acción humana debido a:	
Uso agrario intensivo y prolongado	Anthrosoles
Suelos ricos en artefactos humanos (cerámicas, etc.)	Technosoles
3. Suelos con impedimentos al desarrollo radicular debido a:	
Permafrost a escasa profundidad o pedregosos y con hielo	Cryosoles
Suelos someros o muy pedregosos	Leptosoles
4. Suelos intensamente influenciados por su contenido en agua debido a:	
Ciclos de encharcamiento-déficit de agua ricos en arcillas expandibles	Vertisoles
Suelos en llanuras de inundación y zonas intermareales	Fluvisoles
Suelos alcalinos	Solonetz
Suelos enriquecidos en sal a causa de una intensa evaporación	Solonchaks
Suelos afectados por aguas subterráneas someras	Gleysoles
5. Suelos cuya dinámica se encuentra afectada por la química Fe/Al	
Suelos ricos en alófanos o los complejos hierro-humus	Andosoles
Suelos con queluviación y quiluviación	Podzoles
Acumulación de hierro en condiciones hidromorfas	Plinthosoles
Suelos con arcillas de baja actividad, fijación de fósforo y fuerte estructura	Nitisoles
Suelos muy ricos en caolinita y sesquióxidos	Ferralsoles
6. Suelos afectados por el estancamiento de agua	
Suelos con una discontinuidad textural abrupta	Planosoles
Suelos con una discontinuidad estructural o moderadamente textural	Stagnosoles
7. Suelos ricos en material orgánica y bases	
Con un horizonte típicamente mólico	Chernozemes
Suelos en transición a climas secos	Kastanozems
Suelos en transición a clima húmedo	Phaeozems
8. Suelos con acumulación de sales poco solubles o sustancias no salinas	
Suelos con acumulación de yeso	Gypsisoles
Suelos con acumulación de sílice	Durisoles
Suelos con acumulación de carbonato cálcico	Calcisoles
9. Suelos con enriquecimiento de arcilla en profundidad	
Suelos con transición sinuosa (penetraciones) de horizontes de lavado y argílicos	Albeluvisoles
Suelos con bajo estatus en bases y arcillas de alta actividad	Alisoles
Suelos con bajo estatus en bases y arcillas de baja actividad	Acrisoles
Suelos ricos en bases y arcillas de alta actividad	Luvisoles
Suelos con alto estatus en bases y arcillas de baja actividad	Lixisoles
10. Suelos relativamente jóvenes o sin desarrollo de horizontes	
Suelos con un horizonte superficial ácido y oscuro (Rico en Carbono)	Umbrisoles
Suelos Arenosos	Arenosoles
Suelos moderadamente desarrollados	Cambisoles
Suelos sin un desarrollo significativo del perfil edáfico	Regosoles

2. HORIZONTES DE SUELOS

En vista que la edafización actúa desde la superficie y va perdiendo su intensidad conforme profundiza en el perfil del suelo, el material se altera de un modo diferencial y como resultado de la actuación de estos procesos de meteorización y translocación se pasa de un material homogéneo o uniforme, como es la roca, a un material heterogéneo, estratificado en capas con diferentes propiedades como es el suelo; es decir, se produce la horizonación del material. Y es precisamente esta característica, representada por la variación regular de las propiedades y constituyentes del suelo en función de la profundidad, la característica más representativa de los suelos, rasgo que los diferencia claramente de las rocas. (Chavarría, 2008, citando a diversos autores). A estas capas se les denomina horizontes y su superposición constituye el perfil del suelo.

Los horizontes constituyen las unidades para el estudio y para la clasificación de los suelos.

Para poder conocer los horizontes de un suelo se hace necesario que se excave una calicata (agujero de 1 m x 1 m x 1 m de profundidad).

Los horizontes edáficos son capas aproximadamente paralelas a la superficie del terreno. Se establecen en función de cambios de las propiedades y constituyentes (que son el resultado de la actuación de los procesos de formación del suelo) con respecto a las capas inmediatas.

Los horizontes se ponen, normalmente, de manifiesto en el campo, en el perfil del suelo, pero los datos de laboratorio sirven para confirmar y caracterizar a estos horizontes.

Generalmente bastan sólo tres propiedades para establecer la horizonación de un suelo: color, textura y estructura, aunque otras propiedades, como la consistencia, son a veces de gran ayuda. El más mínimo cambio detectado (en una sola o en varias de estas propiedades) es suficiente para diferenciar un nuevo horizonte.

2.1 NOMENCLATURA PARA LOS HORIZONTES DEL SUELO

La designación de horizontes constituye uno de los pasos fundamentales en la definición de los suelos.

Para designar a los horizontes del suelo se usan un conjunto de letras y de números.

2.1.1 HORIZONTES PRINCIPALES

H. Acumulaciones de materia orgánica sin descomponer (> 20-30%), saturados en agua por largos períodos. Es el horizonte de las turbas.

O. Capa de hojarasca sobre la superficie del suelo (sin saturar agua; > 35%), frecuente en los bosques.

- A. Formado en la superficie, con mayor % materia orgánica (transformada) que los horizontes situados debajo. Típicamente de color gris oscuro, más o menos negro, pero cuando contiene poca materia orgánica (suelos cultivados) puede ser claro. Estructura migajosa y granular.
- E. Horizonte de fuerte lavado. Típicamente situado entre un A y un B. Con menos arcilla y óxidos de Fe y Al que el hor. A y el hor. B. Con menos materia orgánica que el A. Muy arenosos y de colores muy claros (altos valores). Estructura de muy bajo grado de desarrollo (la laminar es típica de este horizonte).
- B. Horizonte de enriquecimiento en: arcilla (iluvial o in situ), óxidos de Fe y Al (iluviales o in situ) o de materia orgánica (sólo si es de origen iluvial; no in situ), o también por enriquecimiento residual por lavado de los carbonatos (si estaban presentes en la roca). De colores pardos y rojos, de cromas (cantidad de color) más intensos o hue (tonalidad del color) más rojo que el material original = hor. C). Con desarrollo de estructura edáfica (típicamente en bloques angulares, subangulares, prismática).
- C. Material original. Sin desarrollo de estructura edáfica, ni rasgos edáficos. Blando, suelto, se puede cavar con una azada. Puede estar meteorizado pero nunca edafizado.
- R. Material original. Roca dura, coherente. No se puede cavar.

2.1.2 HORIZONTES DE TRANSICIÓN

Se presentan cuando el límite entre los horizontes inmediatos es muy difuso, existiendo una capa ancha de transición con características intermedias entre los dos horizontes. Se representan por la combinación de dos letras mayúsculas (p.ej., AE, EB, BE, BC, CB, AB, BA, AC y CA). La primera letra indica el horizonte principal al cual se parece más el horizonte de transición.

2.1.3 HORIZONTES MEZCLA

En algunas ocasiones aparecen horizontes mezclados que constan de partes entremezcladas. Están constituidos por distintas zonas en cada una de las cuales se puede identificar a un horizonte principal (en la misma capa existen trozos individuales de un horizonte completamente rodeados de zonas de otro horizonte). Se designan con dos letras mayúsculas separadas por una raya diagonal (p.ej. E/B, B/C); la primera letra indica el horizonte principal que predomina.

2.1.3.1 LETRAS SUFIJO MÁS USUALES

Las letras minúsculas se usan como sufijos, para calificar a los horizontes principales especificando el carácter dominante de este horizonte. Las letras minúsculas van inmediatamente después de las letras mayúsculas.

p horizonte arado, (de plow = arar). Prácticamente siempre referida al horizonte A, (Ap).

h acumulación de materia orgánica (h de humus). Normalmente por mezcla, en el

horizonte A de suelos vírgenes (Ap y Ah son excluyentes) y sólo en los podzoles, por iluviación, en el horizonte B (Ah Bh).

w horizonte B de alteración, (de weathering = meteorización) reflejada, con respecto al horizonte inferior, por: la arcilla (alto contenido, formada in situ), y/o el color (más rojo o más pardo), y/o la estructura (edáfica, no la de las rocas originales). Si en el material original había carbonatos el B se puede formar simplemente por lavado de estos carbonatos (hor. de enriquecimiento residual). Bw.

t acumulación de arcilla iluvial, (de textura, o sea granulometría). Bt.

k acumulación de carbonatos secundarios (k de kalcium). Llamado "ca" en otras terminologías). En B (frecuente), en C (muy frecuentemente) y a veces en A (Ak Bk Ck).

y acumulación de yeso. Ay By Cy

z acumulación de sales más solubles que el yeso ($y + z = sa$, en otras terminologías). Az Bz Cz.

s acumulación de sesquióxidos, típico de los podzoles. Bs, también en los ferralsoles.

g moteado (abigarrado) por reducción del Fe. Manchas de colores pardos/rojos y gris/verde. Hidromorfía parcial. Bg Cg y más raramente Ag.

r reducción fuerte, como resultado de la influencia de la capa freática, colores gris verdoso / azulados (hidromorfía permanente, o casi). Cr Br.

m fuertemente cementado. Frecuentemente por carbonatos (Bmk), pero en otras condiciones puede ser por materia orgánica (Bmh), por sesquióxidos de Fe (Bms) o por sílice (Bmq)

b horizonte de suelo enterrado (paleosuelo) o bicíclico (p.e. Btb), (de buried = enterrado).

2.1.3.2 CIFRAS SUFIJO

Se usan las cifras sufijos para indicar una subdivisión vertical de un horizontes del suelo. El número sufijo siempre va después de todas las letras símbolo. La secuencia numérica se aplica sólo a un conjunto de letras determinado, de tal forma que la secuencia se empieza de nuevo en el caso de que el símbolo cambie (p.e. Bt1 - Bt2 - Btg1 - Btg2). Sin embargo, una secuencia no se interrumpe por una discontinuidad litológica (p.e. Bt1 - Bt2 - 2Bt3 - 2Bt4 - 3Bt5).

2.1.3.3 CIFRAS PREFIJO

Se usan las cifras prefijos, para indicar discontinuidades litológicas, indican que el material que formó el suelo no era homogéneo, (por ejemplo, suelo formado a partir de distintos estratos sedimentarios superpuestos).

2.1.4 DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES

Para el estudio de los horizontes ha de hacerse una completa descripción de sus características morfológicas, en el campo, junto a un completo análisis de sus propiedades físicas y químicas, en el laboratorio.

En líneas generales los datos se refieren:

1. Al medio ambiente en el que se encuentra el suelo: localización geográfica, roca, relieve, vegetación y uso, clima, drenaje)
2. A los horizontes en sí mismos. Con datos de campo (espesores, textura, estructura, color, consistencia y límite) y datos del análisis del suelo en el laboratorio: análisis físicos (granulometría, retenciones de agua, densidades,...), químicos (materia orgánica, N, CaCO₃), fisicoquímicos (pH, capacidad de cambio iónico, pH, conductividad) y micromorfológico.

Con todos estos datos podrán establecerse interesantes conclusiones acerca de la clase de suelo, de sus propiedades, de su formación, de su fertilidad y de su uso más racional.

2.1.4.1 HORIZONTES DIAGNÓSTICOS

Un horizonte diagnóstico es un horizonte definido morfométricamente, con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, para su utilización en la clasificación del suelo.

Estos horizontes se definen de una manera mucho más completa que como se hace para la nomenclatura ABC, además se utilizan criterios cuantitativos, los cuales estaban totalmente ausentes en la terminología ABC.

2.1.4.1.1 HORIZONTE A MÓLLICO

Es un horizonte rico en materia orgánica (> 1%). De color muy oscuro (croma < de 3,5 en húmedo y value < 3,5 en húmedo y < 5,5 en seco). De gran espesor (> 10 cm sobre roca; > 18 cm y > 1/3 solum, si solum < 75 cm; > 25 cm si solum > 75 cm): Saturado en bases (> 50%). Estructurado. Bajo contenido en fósforo.

2.1.4.1.2 HORIZONTE A ÚMBRICO

Las exigencias del horizonte A úmbrico, son comparables a las del A móllico (en el color, materia orgánica, estructura y espesor), pero el horizonte A úmbrico tiene, sin embargo, un grado de saturación menor del 50%.

2.1.4.1.3 HORIZONTE A ÓCRICO

Es un horizonte que tiene un color demasiado claro (altos value y croma), o demasiado poco carbono orgánico, o es demasiado delgado, para ser móllico o úmbrico, o es duro y macizo, a la vez, cuando se seca.

2.1.4.1.4 HORIZONTE A FÍMICO

El horizonte A fímico es una capa superficial hecha por el hombre, de 50 cm o más

de profundidad por adicción intensa de materiales (incluye al horizonte plaggen y al antrópico de la Soil Taxonomy). Generalmente contiene artefactos tales como trozos de ladrillo y cerámica.

2.1.4.2 HORIZONTE A HÍSTICO

Es un horizonte H (saturados en agua por largos períodos y con altos contenidos en materia orgánica) que tiene más de 20 cm de espesor y menos de 40 cm (puede llegar a <60 cm si las fibras de sphagnum >75% del volumen, o si la densidad aparente en húmedo <0,1).

2.1.4.3 HORIZONTE E ÁLBICO

Horizonte de lavado. Es un horizonte E que tiene que cumplir condiciones de suficiente lavado: textura arenosa y suficiente decoloración (colores claros, altos valores). Los granos de arena se presentan limpios, sin revestimientos.

2.1.4.4 HORIZONTE B ÁRGICO. ANTIGUO ARGÍLLICO

Acumulación de arcilla iluvial (Bt) o por destrucción de la arcilla en el horizonte A.

Debe de tener (las tres condiciones):

- a) suficiente enriquecimiento en arcilla (según el contenido en arcilla del horizonte suprayacente: si el horizonte suprayacente < 15%, el hor. B debe tener un 3% más de arcilla; si 15-40%, x 1,2 en el Bt; si > 40%, 8% más en el Bt);
- b) suficiente espesor (al menos 1/10 de la suma de todos los situados encima).
- c) distancia del enriquecimiento 15 cm (o 30 cm. con arcilanes).

No debe ser muy arenoso (> 8 % de arcilla).

El hor. suprayacente debe tener más de 18 cm de espesor, o al menos 5 cm si hay cambio textural brusco.

La presencia de clayskins (películas de arcilla) en las descripciones de campo o arcilanes iluviales (también llamados revestimientos de arcilla) en la descriptiva de microscopio facilita enormemente la identificación de este horizonte. Estas películas son obligatorias si el hor. B contacta directamente con un hor. Ap.

2.1.4.5 HORIZONTE B CÁMBICO

Horizonte de alteración, puesto de manifiesto por (una o más):

- Más % de arcilla que el horizonte subyacente.
- Un color (hue) más rojo o un croma más intenso que el horizonte subyacente.
- Lavado de carbonatos.
- Si no hay carbonatos en el material de partida, la alteración se manifiesta por un desarrollo de estructura de suelo (sin estructura de roca en > 50% volumen horizonte).

Tiene como mínimo 15 cm de espesor y su base está al menos a 25 cm de profundidad. Carece de las características del árgico y no es un horizonte A, ni E, ni es de textura muy arenosa (>8% de arcilla).

2.1.4.6 HORIZONTE B ESPÓDICO

Acumulación iluvial de materia orgánica y/o sesquióxidos de Fe/Al (Bh y/o Bs). Exclusivo de los podzoles. Generalmente con un horizonte E encima. Perfil muy evolucionado: A-E-Bh-Bs-C.

2.1.4.7 HORIZONTES DIAGNÓSTICOS ABC

2.1.4.7.1 HORIZONTE CÁLCICO

Acumulación (secundaria) de CaCO_3 . Se puede dar en A, B o C.

Tiene que ser: a) acumulación > 15% CaCO_3 ó 5% más que el horizonte más profundo y b) suficiente espesor > 15 cm.

2.1.4.7.2 HORIZONTE PETROCÁLCICO

Horizonte igual al anterior pero endurecido.

2.1.4.7.3 HORIZONTE GYPSICO Y PETROGYPSICO (TAMBIÉN LLAMADOS YÉSICO Y PETROYÉSICO)

Similares a los anteriores pero ahora se acumula yeso.

Tiene que ser: a) acumulación 5% SO_4Ca más que el horizonte C subyacente; b) suficiente espesor > 15 cm y c) espesor x % SO_4Ca > 150.

2.2 MATERIALES ORIGINALES

Son aquellos en los cuales los procesos edáficos todavía no han actuado de manera importante.

Entre los principales materiales originales se pueden mencionar los siguientes:

2.2.1 ANTROPOGEOMÓRFICOS

Materiales resultantes de las actividades humanas, mineral u orgánico, como: rellenos de fosas, escombreras, residuos orgánicos, lodos, canteras, aterrazamientos, nivelaciones, abancalamientos, etc.

Algunos de estos materiales son:

- Arico. Presencia (3% o más en volumen; entre 25 y 100 cm de profundidad) de fragmentos de horizontes de diagnóstico mezclados.
- Gárbico. Depósitos de residuos orgánicos (organic wastes).

- Redúctico. Residuos que producen emisiones gaseosas (metano, dióxido de carbono) por transformaciones anaerobias.
- Espólico. Materiales terrígenos resultantes de actividades industriales (escombreras, dragados de ríos, cunetas de carreteras, etc).
- Urbico. Materiales terrígenos conteniendo restos de construcciones y artefactos.
- Calcáricos. Dan fuerte efervescencia con el HCl al 10% (con más del 2% de CaCO_3 equivalente).
- Flúvicos. Para suelos formados a partir de aportes recientes traídos por los ríos (también en lagos y mares). También si ya no se reciben los aportes (por ejemplo, por haber represado el río, aguas arriba) pero los materiales recibidos, en su día, todavía no han evolucionado. Presenta perfiles estratificados con numerosas capas (en al menos el 25% del volumen), puesta también de manifiesto esta estratificación por la materia orgánica que decrece irregularmente con la profundidad, o por lo menos permanece por encima del 0,2% a una profundidad de 100 cm.
- Gypsíferos. Con un más de un 5% de yeso (en volumen).

2.2.2 ORGÁNICOS

Materiales orgánicos del suelo son aquellos que:

1. Están saturados con agua durante largos periodos o están drenados artificialmente y, excluyendo las raíces vivas, (a) tienen como mínimo un 18% de carbono orgánico si la fracción mineral tiene un 60% o más de arcilla, (b) tienen como mínimo un 12 % de carbono orgánico si la fracción mineral no tiene arcilla, o (c) tienen un contenido en carbono orgánico proporcional, entre 12 y 18%, cuando el contenido en arcilla de la fracción mineral oscila entre 0 y 60%; o
2. nunca están saturados con agua durante más de unos pocos días y tienen como mínimo 20% de carbono orgánico.

Sulfurosos Materiales encharcados con $>0,75\%$ de azufre (formando sulfuros) y menos de tres veces de sulfuros que de carbonato cálcico equivalente; su pH (en agua) es de más de 3,5.

Téfricos Materiales volcánicos no o ligeramente, consolidados, piroclásticos (por ejemplo, cenizas) o depósitos de tefrita reelaborados (eólicos o aluviales).

Tiene el 60% o más de estos materiales y menos del 0,4% de $\text{Al} + 1/2\text{Fe}$ extraíble por oxálico-oxalato a $\text{pH} = 3$.

3. CONSERVACIÓN DE SUELOS

¿Qué es conservación de suelos? Es aplicar técnicas o prácticas que contribuyen a conservar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, para mantener su capacidad productiva. (FHIA. 2004)

Los suelos tienden a degradarse según el manejo que reciban. En la mayoría de casos, los bajos rendimientos productivos se deben a que los suelos ha medida que se van usando van perdiendo sus contenidos de nutrientes o bien se modifican sus propiedades físicas, con lo cual se limita el crecimiento y desarrollo de los cultivos. (Chavarría, F. 2009b, citando a PCAC 2007)

Para lograr la conservación de los suelos se deben de implementar un sinnúmero de prácticas tanto culturales como agronómicas.

El tipo de práctica que se vaya a implementar dependerá de varios factores a tomar en cuenta. Siendo los principales la pendiente del terreno, la profundidad del suelo, la textura, la precipitación, capacidad de infiltración de los suelos, la pedregosidad, fertilidad del suelo, acidez del suelo, acceso a insumos, capacidad de los productores de implementar las prácticas, los objetivos del productor y de la finca, entre otros factores.

El principal objetivo de la conservación de suelos es prevenir, reducir y contrarrestar la erosión, tanto hídrica como eólica.

En las unidades anteriores se ha hablado de las características de los suelos. Una de estas es la pendiente, siendo que esta es de fundamental importancia en los procesos erosivos, se hace necesario saber determinarla. Existen varios métodos e instrumentos para conocer la pendiente de un suelo. Por la facilidad y la disponibilidad de los medios solamente abordaremos algunos de los métodos.

En el campo se puede hacer uso de lo que tengamos a mano, una de las posibilidades es construir un agronivel o también conocido como "aparato A" por su forma a una "A". Para construirmos un aparato A, se requiere de los siguientes materiales y herramientas:

- Dos reglas de madera con una longitud de 2 metros y de 2 pulgadas de ancho por una de espesor
- Una regla de madera de 1.1 metros que servirá como travesaño
- Tres clavos de unos 3 pulgadas (cerca de 8 centímetros)
- Cuerda fina o cáñamo de costurar sacos
- Lápiz de tinta
- Navaja
- Chapa de 6 mm de espesor
- Un nivel de albañilería o bien uno de burbuja de los usados en cordel. En caso de no

contar con éstos se puede usar una piedra, o botella con su tapa o rosca para utilizarla como plomada.

En caso de no contar con la posibilidad de tener las reglas de madera, podemos hacer uso de madera rolliza o varas que sean rectas y que tengan al menos dos pulgadas de diámetro. Estas varas rollizas se deberán secar por varios días antes de fabricar el aparato A.

El procedimiento para construir el aparato A es sencillo ya que sólo hay que seguir los siguientes pasos:

- Clave los palos de 2 m en uno de los extremos, más o menos a 2.5 cm (1 pulgada) del mismo. La cabeza del clavo debe quedar salida para poner la plomada.
- Marcar el lugar donde irá el travesaño. Para esto se amarra la cuerda al clavo y con ésta extendida se hace una marca a igual distancia en cada pata.
- Clave las 2 estacas o trompos sobre la tierra plana a una distancia de 2 metros.

En la gráfica siguiente se muestra:

1. Para trazar curvas con un desnivel de 0.5% tome una chapa que tenga 6 milímetros de espesor y colóquela sobre uno de los trompos.
2. Coloque una pata del nivel "A" sobre la chapa y la otra pata sobre el otro trompo y observará que la burbuja o gota del nivel de cuerda no está nivelada.

Proceda a buscar un punto en el suelo en donde la burbuja del nivel de cuerda quede nivelada. De no quedar nivelada, proceda a raspar con la navaja el punto en donde colocará el nivel de cuerda hasta que la burbuja quede a nivel, hágale las marcas con lápiz de tinta en ese punto y fije el nivel de albañil con ayuda de hule de neumático o cabuya.

3. Proceda a marcar en la regla horizontal el punto de la dirección del desnivel, colocando una flecha hacia el lugar a donde va el desnivel. De esta forma, el nivel "A" queda listo para trazar curvas a nivel o desnivel según sea el caso.
4. Amarre la plomada (hecha con la botella o la piedra) en la cabeza del clavo de tal manera que quede debajo del travesaño. Si está trabajando con el nivel de burbuja o de albañil, amárrelo encima del travesaño.

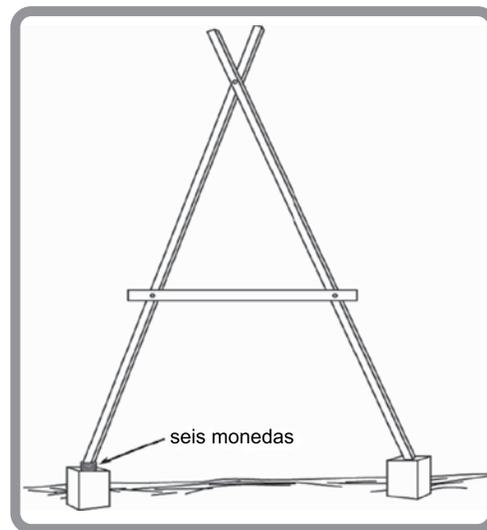


Figura 8. Trazo de curvas a desnivel del 0.5% (Fuente FHIA. 2004)

Para realizar correctamente el trazado de curvas a nivel o de zanjas de evacuación de agua de exceso se debe realizar calibración del agronivel o aparato "A". Para lograr calibrar el aparato se deben seguir los pasos siguientes:

- a) Coloque el nivel en un terreno inclinado y marque donde las patas tocan el suelo.
- b) Haga una marca en el travesaño en el punto donde lo cruza la cabuya de la plomada.
- c) Déle media vuelta al nivel "A" o agronivel, de tal manera que cada pata quede sobre la marca donde estaba la otra anteriormente. Ponga una marca con lápiz en el travesaño en el punto donde lo cruza la cabuya. El centro entre ambas marcas se debe marcar; éste indicará el nivel a seguir para trazar curvas a nivel.

Para comprobar si realmente el nivel "A" queda bien calibrado y listo para trazar curvas a nivel, coloque el aparato en los trompos, enterrando aquel que está más alto hasta que la cabuya roce la marca central. Después, se cambia la posición de las patas, nuevamente la cabuya debe coincidir con la marca central.

Para conocer la pendiente de un terreno haciendo uso de aparato "A" se aplica la ecuación: $P (\%) = (DV/DH) * 100$, donde:

DV es la distancia entre el nivel de terreno y uno de los extremos del aparato sobre la pendiente.

DH corresponde a la distancia entre ambas reglas que componen el aparato "A".

Esa pendiente resulta en porcentaje pero podría convertirse a grados mediante la ecuación: $P (^\circ) = \text{Cot} (\text{Pendiente } \%/100)$.

Con la pendiente y la profundidad de suelo se aplica metodología de Capacidad de Uso del Suelo para planificar el uso del suelo sin tener mayores riesgos de degradación. Con ello se consigue una agricultura sostenible desde todos los aspectos o sea las tres dimensiones que comprende el desarrollo sostenible.

La metodología de Capacidad de Uso del Suelo se abordará posterior al uso de instrumentos.

Como decíamos al inicio de este apartado, la determinación de la pendiente se puede realizar con otros instrumentos. Tratando siempre de que se haga uso de lo que este accesible.

En la gráfica se muestra en orden de izquierda a derecha. El nivel de burbuja, posteriormente el cordel de 30 metros de longitud (los hay de menos), brújula graduada para determinar pendiente en



Figura 9. Instrumentos con que se puede medir pendiente (Foto Chavarría, F. 2011)

grados y porcentajes, cinta métrica y el eclímetro también conocido como clinómetro o nivel Agney, que nos da resultados en % y grados.

En esta figura se muestra el aparato conocido como clinómetro, el que por su sencillez en su uso así como la confiabilidad de los datos es ampliamente utilizado en campo, para mediciones de pendiente, el cálculo de alturas de árboles, nivelaciones para riego, trazado de zanjas para evacuación de aguas de escorrentía, trazado de canales o zanjas para enterrar tuberías para conducción de agua potable, etc.



Figura 10. Clinómetro
(Foto Chavarría, F 2011)

Para la nivelación con cordel y nivel de burbuja se procede tal como se muestra en la figura 3.

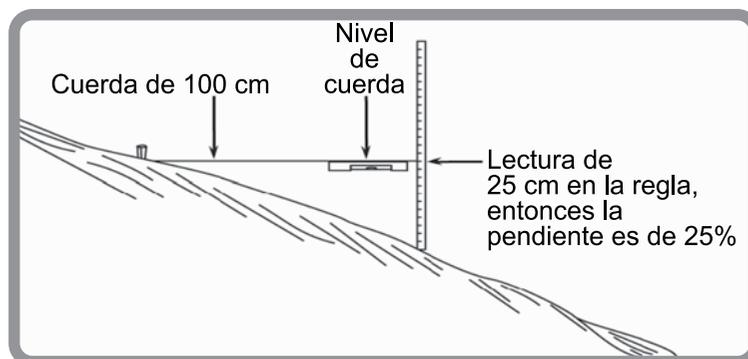


Figura 11. Cálculo de pendiente con cordel y nivel de burbuja (FHIA. 2004)

Este procedimiento es más sencillo de realizar y menos costoso sin perder confiabilidad. El único inconveniente es que está influenciado por el viento y la presencia de vegetación.

Existen diversas prácticas agronómicas y culturales que se podrían implementar. Entre estas se encuentran las siguientes:

- 1) Uso de coberturas vivas o muertas
- 2) Barreras vivas
- 3) Barreras muertas
- 4) Siembra a curvas a nivel
- 5) Zanjas a nivel
- 6) Zanjas a desnivel
- 7) Diques
- 8) Cortinas rompevientos
- 9) Asocio de cultivos
- 10) Rotación de cultivos
- 11) Cero labranza

- 12) Labranza mínima
- 13) Sistema agroforestales
- 14) Sistemas silvopastoriles
- 15) Cultivos en callejones
- 16) Abonos orgánicos
- 17) Uso de estiércoles
- 18) Uso de residuos de cosecha como pulpa de café, cascarilla y otros

En el caso de las coberturas, la más utilizada es la compuesta por leguminosas, esto debido a que además de proteger los suelos contra la erosión, les ayuda en la fijación de grandes cantidades de nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con las bacterias que colonizan los nódulos de las leguminosas (Binder, U. 1997)

Entre las leguminosas más utilizadas están: *Canavalia ensiforme* (fríjol de chanco, fríjol machete), *Cannavalia gladiata* (*Dolichos gladiatus*), *Centrosema brasilianum* (*Clitoria brasiliana*), *Clitoria ternatea* (conchita azul), *Lablab purpureus* (*Dolichos lablab*), *Mucuna pruriens* (Fríjol terciopelo), entre otros.

La Soil and Water Conservation Society (1988) así como Young (1989) basándose en estudios de suelos determinaron el efecto que tiene la cobertura sobre el control de erosión.

En la tabla siguiente se muestra los efectos.

Superficie de suelo protegida con cobertura muerta o viva (%)	Reducción en la pérdida de suelo (%)
1	5
5	45
10	55
15	67
20	80
30	85
40	88
50	90
60	96
70	98
80	99

Fuente: Tracy, F y Pérez, R (1994)

El papel desempeñado por la cobertura se incrementa al realizarse incorporaciones de sustancias que contribuyen a su descomposición como algunos EM, levaduras o simplemente melaza diluida en agua.

Al reducirse las pérdidas debido a la erosión se garantiza la sostenibilidad de la agricultura, si consideramos que para que se forme una capa de apenas 2.5 cm de suelo se requieren de hasta 100 años. (Young, 1981 citado en Tracy, F y Pérez, R. 1994)

Según algunas normas reconocidas a nivel internacional, existen rangos de erosión tolerable. Las más conocidas son las del USDA que establece rangos de 2.2 hasta 11 ton/ha para suelos poco profundos a suelos profundos sobre material cascajoso. La norma de Hugson para países en desarrollo establece de 5 a 15 ton/ha para suelos poco profundos de alta erodabilidad hasta suelos profundos de baja erodabilidad.

La verdad es que debemos cuidar de nuestros suelos, que es el sustrato de la vida, especialmente para sociedades que dependen de la agricultura y la ganadería para su subsistencia.

A continuación se presenta esquema de capacidad de uso de suelos, modificado por Sheng, 1971, Michaelsen, 1977 y CENICAFÉ en 1975). En este esquema se reflejan los potenciales usos de los suelos considerando la pendiente del terreno y la profundidad de los suelos. Esto no es una camisa de fuerza pero pudiera ser de mucha utilidad a la hora de platicar los usos de nuestros suelos.

Tabla 3 Esquema de Capacidad de Uso de los Suelos

Profundidad de suelo	Pendiente del terreno (%)			
	> 12	12-50	50-60	60 >
Mayor de 50 cm	Cultivos limpios (Granos básicos, hortalizas, yuca, frutales) con medidas agronómicas (siembras en contorno, rotación, uso de rastrojos y mulch)	Cultivos limpios con medidas agronómicas, barreras vivas, obras físicas hasta el 50 % e suelos altamente resistentes a erosión Cultivos semi limpios (plátanos, frutales) arriba del 25 % en suelos muy propensos a erosión, siempre con medidas agronómicas.	Cultivos densos o pastos manejados adecuadamente	Plantaciones forestales o de protección de flora y fauna
Menor de 50 cm	Cultivos limpios con paquete de medidas agronómicas	Cultivos densos (caña de azúcar, pasto de corte, etc) o cultivos de semi bosque como café con cacao bajo sombra, en suelos con buena resistencia a erosión	Plantaciones forestales	Plantaciones forestales o de protección de flora y fauna

C Ejercitación

TRABAJO EN EQUIPO

1) Organizados en equipos de trabajo conformados por no más de cuatro compañeros, resolvamos lo siguiente.

Tratemos de clasificar un suelo que presenta las características siguientes:

- a) Color: Negro
 - b) Profundidad: 1 metro
 - c) Pendiente: menor de 10 %
 - d) Textura: Arcillosa
 - e) Los suelos se expanden en época lluviosa y se contraen durante la época seca
 - f) Se dificulta su laboreo en estado mojado
- 2) Analicemos para que podremos utilizar el área estudiada en el ejercicio anterior
- 3) Expongamos los resultados ante nuestros compañeros

IMPORTANTE

Luego de realizar la exposición, si se diera el caso de que el auditorio le planteara preguntas, pueden responder los miembros del equipo de trabajo.

Se sugiere que se tomen notas de aportes del plenario a la exposición de su grupo.

Incorpore al informe los aportes que crea pertinente.

D Aplicación

TRABAJO EN EQUIPO

Visitemos una parcela cercana y que se encuentre siendo utilizada para la producción agrícola o pecuaria, y con la participación de los compañeros del grupo, realicemos lo siguiente:

- Determinemos pendiente de uno de los lotes por cualquiera de los métodos estudiados.
- Excavemos una calicata en el suelo (un agujero en forma de cubo con dimensiones de 1 metro ancho x 1 metro de largo x 1 metro de profundidad).
- Revisemos en cada uno de los perfiles (lados), los cambios de coloración, textura, presencia de raíces, piedras y otras características que las diferencien.
- Anotemos cuantas capas (horizontes) presenta cada perfil.
- Anotemos que características prevalecen en sitio de estudio (vegetación arbórea, fuentes superficiales de agua, manejo agrícola o pecuario, erosión, etc).
- Tomemos fotografía de cada horizonte observado.
- Extraigamos una muestra de cada horizonte observado.
- Preparemos un informe con los hallazgos encontrados.

EN PLENARIA

El relator del grupo o a quien haya seleccionado el grupo se encargará de exponer las conclusiones de nuestro equipo de trabajo con respecto a la asignación.

Los integrantes del equipo de trabajo responderemos a inquietudes del plenario.

Los miembros de los grupos de trabajo debemos incorporar al informe los aportes obtenidos de otras exposiciones o señalamientos hechos por el plenario.

Con ayuda del docente se aclararan dudas que hayan surgido luego de la exposición.

E *Complementación*

TRABAJO INDIVIDUAL

- 1) Con ayuda de Internet o material bibliográfico de la biblioteca. Preparemos:
 - a) Álbum fotográfico de los principales horizontes diagnósticos estudiados
 - b) Características principales de cada uno de los horizontes
 - c) Origen de los horizontes en un perfil de suelo

Podremos consultar además en los sitios siguientes:

Publicaciones de WSU:<http://pubs.wsu.edu/>

Publicaciones de OSU:<http://eesc.orst.edu/>

Publicaciones de Uldaho:<http://info.ag.uidaho.edu/>



BIBLIOGRAFÍA

- BINDER, U. (1997). Manual de Leguminosas de Nicaragua. Tomo I. PASOLAC y EAGE. Esteli-Nicaragua.
- CRIES (The Comprehensive Resources Inventory and Evaluation System). (1992). Clasificación de Suelos.
- CHAVARRÍA, F. (2008). Curso de Suelos I. UNAN Managua.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima Edición, 2006
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) (2004). Guía sobre Prácticas de Conservación de Suelos. La Lima-Honduras.
- INETER. (1988). Mapa de suelos de Nicaragua.
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). (2000) Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. 1a. ed. San Salvador, El Salvador.
- TRACY, F. y PÉREZ, R. (1994). Manual Práctico de Suelos de Ladera. Secretaría de Recursos Naturales-LUPE. Honduras.
- VILLANUEVA, G.; OSINAGA, R.; CHÁVEZ, A. 2004. El Uso Sustentable de los Suelos. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.



UNIDAD 5

INFRAESTRUCTURAS HIDROAGRÍCOLAS

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Describir los procesos de absorción y de intercambio de agua que tienen lugar en los suelos.

COMPETENCIA ESPECÍFICA

- Reconoce los principales elementos de la estructura hidroagrícola, los factores que afectan su utilización y su influencia en la producción agropecuaria.

TRABAJO EN EQUIPO

1) Organicémonos en equipos de trabajo y juntos resolvamos las actividades que se nos han asignado. Para ello elijamos a un relator y un moderador para que garanticemos que todos podamos participar.

2) Juntos, leamos y analicemos el párrafo siguiente.

Cajina, M.J (2006), citado por CIMDER (2011) señala que en el año 2002, durante la celebración de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (WSSD), se formuló un llamado a nivel mundial para que los gobiernos elaboraran estrategias que permitan la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH). Entre los objetivos de las estrategias que se formularían deberían perseguir la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria, promoción del crecimiento económico y la protección de los ecosistemas. Para lograr lo anterior las estrategias deberían estar orientadas al control de inundaciones, mitigación de efectos de las sequías, dar respuesta a la demanda incrementada de agua y la escasez de los recursos hídricos.

El agua constituye uno de los principales recursos naturales en las cuencas, y como tal es un elemento básico para la vida y elemento integrador de todas las acciones a realizar por los seres humanos (Faustino, 2005). Para poder lograr el desarrollo de las comunidades, la gestión integral de los recursos hídricos, es de suma importancia. Por ello es que se hace necesario conocer los tipos de agua en el suelo, conocer sobre como captar y distribuir el agua de consumo humano como para el riego de los cultivos.

En compañía de los miembros de su equipo de trabajo de no más de cuatro compañeros dé respuestas a lo siguiente:

- 1) ¿Por qué es necesaria el agua en nuestras comunidades?
- 2) ¿Qué dificultades se dan en nuestras comunidades con respecto al agua?
- 3) ¿Existen en nuestras comunidades infraestructuras para la captación, tratamiento y distribución del agua de consumo como para el riego?
- 4) ¿Hacia qué acciones deben estar enfocadas las estrategias para lograr la Gestión Integral de Recursos Hídricos en nuestras comunidades?

EN PLENARIA

- 1) El relator expone ante el plenario los aportes que como grupo hemos hecho.
- 2) Junto a nuestro relator respondemos a inquietudes del plenario.

B *Fundamentación Científica*

TRABAJO EN EQUIPO:

Para comprender información sobre la gestión integral de los recursos hídricos, con nuestros compañeros de grupo procederemos a lo siguiente.

- 1) El coordinador de nuestro subgrupo, leerá en voz alta parte del texto que nos haya sido asignada por el docente.
- 2) Los integrantes del subgrupo escuchamos con mucha atención a la lectura y tomamos apuntes sobre los aspectos más importantes.

1. CLASIFICACIÓN DE AGUA EN EL SUELO

Chow, 2004 señala que producto de la evaporación del agua de la superficie de los océanos, se forman grandes masas de vapor de agua que al condensarse forman las nubes. Las que impulsadas por el viento viajan por la atmósfera y, cuando algún mecanismo climático ocurre provocan las precipitaciones o lluvias.

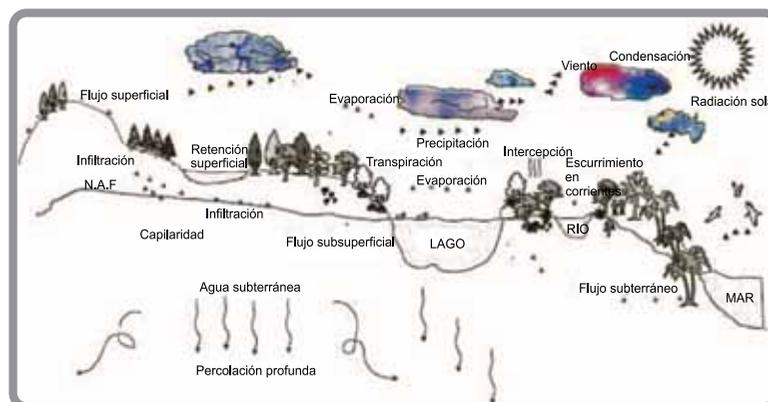


Figura 1: Ciclo hidrológico (Fuente CNA. 2007)

Al darse un evento lluvioso, el agua podrá dividirse en varias porciones, entre ellas: flujo superficial, flujo subsuperficial, flujo subterráneo y agua de intercepción.

Al agua que constituye el flujo superficial se le llama agua de escorrentía superficial, la cual arrastra partículas que han sido cortadas del suelo por el efecto de las gotas o por el mismo flujo. Esta agua llega a las fuentes superficiales (riachuelos y ríos), los que a su vez llegan a fuentes lenticas como lagunas o lagos o bien aportan sus aguas directamente al mar.

Una porción de las aguas de lluvias (flujo subsuperficial) se infiltra en las primeras capas del suelo (horizontes) por donde circula a través de los intersticios hasta encontrar un sitio donde fluir, dando origen a los manantiales o también conocidos como “ojos de agua”. A esta porción de agua se le llama “agua hipodérmica o agua de escorrentía subsuperficial o agua surgente”.

Existe una parte del agua que se infiltra en el suelo profundizándose entre las capas (horizontes) más profundas. A esta porción se le llama “agua subterránea”, la que a la vez da origen a los acuíferos.

Al agua que es interceptada por la vegetación se le llama “agua de intercepción”, la cual una vez retenida podría tomar dos caminos o bien ambos; una porción se evaporará por la acción del viento y del sol, la otra parte del agua interceptada por efecto de la gravedad caerá al suelo, donde se infiltrará si ya ha pasado el evento lluvioso o bien se incorporará al flujo de la escorrentía superficial si al momento de caer está lloviendo aún y el suelo se encuentra saturado.

A la parte formada por la intercepción, retención e infiltración, se le denomina “pérdida”.

En la práctica, los componentes de las pérdidas (intercepción, retención e infiltración), son difíciles de cuantificar por separado, por lo que, en general, se acostumbra calcularlos conjuntamente y considerarlos como infiltración, ya que este componente es el más importante (Chavarría, 2007).

Un infiltrómetro es un cilindro enterrado en el suelo, el cual al ser alimentado con agua y medir la variación del tirante a través del tiempo, permite determinar la velocidad de infiltración en ese punto.

El agua que forma las escorrentías superficiales para efectos de drenaje es llamada “Agua libre o gravitacional”, la que por su misma naturaleza es causante muchas veces de procesos erosivos, reacciones químicas en los suelos como reducción y oxidación o bien la acidificación de suelos.

Al momento en que concluye el suministro de agua al suelo por efecto de riego o lluvia, la humedad retenida se desprende de los macro poros, quedando retenida en el suelo solamente la humedad contenida por los microporos llamada “Agua de capacidad de



Figura 2. Estimación de infiltración de agua
(Fuente López, D. Proyecto Relleno Sanitario)

Campo" para efectos de riego. Al consumirse o evaporarse esta porción de agua, y cuando en la planta se presentan signos de marchitez se dice entonces que el suelo está en la situación de coeficiente de marchitez o humedad crítica, también llamado para efectos de riego como "Punto de Marchitez Permanente".

Para una mayor comprensión de la clasificación del agua en los suelos, consultar la Unidad II de Edafología.

2. INFRAESTRUCTURA PARA EL AGUA POTABLE

Para poder determinar diseño de la infraestructura para abastecimiento de agua de consumo humano (agua potable) se hace necesario en determinar el requerimiento así como las precipitaciones, los aportes de las fuentes de agua y las pérdidas por evapotranspiración así como el consumo que registra la población (número de habitantes y dotación).

Para conocer el requerimiento para consumo humano se utiliza comúnmente la fórmula siguiente:

$$Q \text{ (l/s)} = KP \times \text{Dotación} \times \text{Población} / 86400$$

Donde,

KP = Coeficiente de simultaneidad, depende de la población servida en total, no la servida por ese sistema; adimensional.

D = Dotación media diaria, litro por cada habitante al día.

P = Población servida por el sistema (teniendo en cuenta el crecimiento de dicha población en el periodo de vida útil de la obra; normalmente 20 años).

El valor 86.400 resulta de la transformación de días en segundos.

La dotación para consumo humano puede variar entre 70 y 150 l/hab al día; siendo 100 un valor bastante utilizado. Si se quiere obtener la dotación por persona como suma de cada uno de los consumos asociados a cada uso, se puede hacer pero debe tenerse en cuenta que varían de una a otra población. Como es evidente los consumos no son los mismos en ámbito urbano que en ámbito rural (UCA-AISF 2002).

En la siguiente tabla se dan algunos datos acerca del consumo estimado por persona.

Tabla1. Consumo de agua (estimado en l/hab/día)

Uso de agua	Consumo 1
para bebida, cocina y limpieza por habitante y día	20-30
lavado de ropa por habitante y día	10-15
descarga de retrete	10-15
un baño	200
una ducha	20-30
res mayor por día	50
res menor por día	10-15

El siguiente paso una vez conocida la demanda es determinar la disponibilidad. Esto se hace a través de aforaciones. Lo que consiste en medir el caudal de agua existente. Existen varias técnicas para realizar aforo, pero sólo abordaremos los principales y que pueden ser realizados sin la necesidad de contar con instrumental costoso. Una de las técnicas es la volumétrica, que consiste en medir el volumen ocupado por el agua de una fuente en cierta cantidad de tiempo.

El procedimiento es sencillo y puede ser realizado entre dos personas, una de ellas se encargará de controlar el tiempo que transcurra para poder llenar el recipiente, cuya capacidad debe ser conocida de antemano. Se puede utilizar baldes o pichingas de bajo peso para facilitar su maniobrabilidad. Los datos resultantes se representan en litros por segundo (lps) o bien en metros cúbicos por hora (m^3ph).

Otra técnica es la utilización de la "ecuación de continuidad", la que es más recomendada para fuentes superficiales en donde se dificulte hacer uso de aforaciones volumétricas. En este caso se hace uso de la ecuación $Q = V \times A$, en donde Q representa el caudal (m^3/s), V representa la velocidad del flujo, dada en metros por segundo (m/s) y finalmente A que identifica el área de la sección estudiada, esta va a estar dada en metros cuadrados (m^2).

La técnica de la ecuación de continuidad consiste en acondicionar una sección del río o riachuelo de al menos 10 metros de longitud por el ancho y profundidad más uniforme posible. Una vez se ha hecho esto, se procede a dejar caer suavemente un objeto flotante (corcho o poroplast) en la cabecera del tramo, a la señal del encargado de medir el tiempo, luego al llegar al final de tramo se detiene cronómetro y se obtiene el tiempo en que recorrió la longitud del tramo. Esto se hace al menos cuatro veces hasta obtener una lectura media (suma de tiempos y dividir entre número de mediciones realizadas). Con el ancho y la profundidad se determina el área, la cual se multiplica por la velocidad promedio con se desplazó el objeto flotante utilizado.

Conociendo el caudal con que se dispone se puede calcular dimensión de la captación así como del sistema de tratamiento, así como diámetro de la tubería a utilizar. Se debe de recordar que no se debe de captar toda el agua del riachuelo, ya que ocasionaríamos desequilibrio en el ecosistema. Se debe de dejar una parte (caudal ecológico) que circule por el cauce natural y así las especies silvestres puedan suplir sus necesidades de agua. (Chavarría, F. 2007)

DISEÑO DE CAPTACIONES

Para diseñar las captaciones se tomó como referencia lo dispuesto en Tecnologías para el abastecimiento y saneamiento de agua en proyectos de cooperación al desarrollo en zonas rurales (UCA-AISF 2002)

Antes de hablar de tipos de captaciones se deben señalar condiciones que han de cumplir las obras de captación de manantiales, siendo las principales las siguientes:

- No alterar la cantidad y calidad del agua: ni por disposiciones constructivas, ni por los materiales empleados. Para lograrlo se debe utilizar materiales inertes que no se degraden y pueden producir obstrucciones a la vena líquida.
- Evitar la penetración de las aguas exteriores en el manantial, así como de cualquier organismo extraño. Para lo cual se deberá impermeabilizar las cubiertas y recubrir los parámetros exteriores con una capa de 20 cm de grosor de asfalto, concreto o arcilla fina pesada.
- Conservar las condiciones físicas del agua captada: temperatura, etc. esto se logra a través de dispositivos de ventilación (rejillas por ejemplo) bien protegidos. Una capa de 0,5 m de tierra que proteja de los cambios de temperatura.
- Regular automáticamente el caudal a conducir. Para ello se deberá de disponer un aliviadero y llaves de paso para regular la cantidad de agua que se toma.
- Eliminar las arenas existentes. Disponer de un desarenador.
- Establecer zona de protección, en la que no deberá permitirse establecimiento de cultivos, entrada de ganado ni construcciones. En vista de que es difícil establecer un área estándar para aplicabilidad generalizada para estas zonas se recomienda que como mínimo se deje 100 m a la redonda de donde se encuentra el manantial.

TIPOLOGÍA DE LAS OBRAS

MANANTIAL DE LADERA: Cuando la fuente de agua es un manantial de ladera, la caja de captación (arqueta) se coloca cortando la vena líquida disponiendo un relleno de grava antes de los orificios de entrada a la cámara para producir una ligera filtración.

Existen dos soluciones:

1. Muros laterales que corten la capa impermeable de forma que concentren el agua.
2. Zanjas de avenimiento en la prolongación de los muros si la dispersión es muy grande.

Una vez se han concentrado las aguas, la captación constará de tres partes:

1. Protección del afloramiento.
2. Depósito, el que sirve para regular el agua que va a utilizarse.
3. Cámara de acceso la que sirve para manipular las llaves de paso.

MANANTIAL DE FONDO: Cuando la fuente de agua es un manantial de fondo o de emergencia existen diversas soluciones:

La captación más sencilla consiste en una caja de concreto sin fondo sobre el lugar del afloramiento. Sobre la caja se recomienda instalar una capa de tierra para mantener la temperatura. En la misma arqueta van los dispositivos de toma, de desagüe y de aliviadero. Pero es más aconsejable que la caja de captación este autónoma a la cámara de acceso o de toma.

La toma debe estar a suficiente altura (unos 15 cm) para permitir el depósito de arenilla.

Debe disponerse un tubo de ventilación con campana a fin de que el agua esté oxigenada pero no pueda entrar nada desde el exterior.

POZOS: El pozo ordinario consiste en un hueco cilíndrico, excavado en el terreno, con diámetro y profundidad variable, que al atravesar un lecho permeable, permite la afluencia de agua hacia el mismo.

Los pozos empleados en la captación de aguas pueden clasificarse según:

1. Según magnitud: superficiales u ordinarios, con una profundidad relativamente pequeña, y profundos, con una profundidad importante y por tanto más difícil de construir.
2. Según entrada de agua: permeables, con entrada de agua por los laterales, y de pie, con entrada de agua únicamente por el fondo.
3. Según revestimiento: de fábrica, metálicos y especiales, según el material del que estén recubiertas sus paredes interiores.

En función de las características del terreno atravesado será necesario uno u otro tipo de revestimiento, así como fijar un valor para el diámetro del pozo; otro factor a tener en cuenta es el uso granulométrico del terreno natural permeable, en cuanto a la relación entre la velocidad en el flujo del agua de aportación y el arrastre de los finos de dicho terreno.

Debe cuidarse que la velocidad de la circulación de agua sea inferior a estos límites para no incurrir en peligro de desestabilización del terreno. Las velocidades precisas para arrastrar las partículas de arena las podemos obtener en la siguiente tabla:

Tabla 2. Velocidad de arrastre según diámetro de granos

Diámetro	Velocidad de arrastre m/s
0,25	0,04
0,5	0,07
0,75	0,09
1,00	0,115
1,25	0,13
1,5	0,15
1,75	0,166
2,00	0,18

Una vez obtenida el agua a través de captaciones según su calidad físico-química y bacteriológica se hará necesario realizar tratamiento. Para lo cual veremos lo dispuesto por MIFIC a través de la Norma técnica para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua (MIFIC, 1995)

PROCESOS DE PRETRATAMIENTO

Los pretratamientos más simples que pueden utilizarse son la captación indirecta, ya sea como prefiltro vertical u horizontal, sedimentación laminar, filtración gruesa rápida y desarenadores. Pueden emplearse independientemente, combinados entre si o con otros procesos para obtener mejores resultados.

CAPTACIÓN INDIRECTA

a- Prefiltro vertical. El prefiltro vertical está conformado por grava de acuerdo a las características indicadas en la tabla No. 3

Tabla 3. Especificaciones para grava de prefiltro vertical.

Capa	Espesor (m)	Diámetro (mm)
1	0.10	10-25
2	0,20	10-15
3*	0,50	5-10

* Capa de fondo

En cambio si se trata de prefiltro horizontal se deberá utilizar como referencia los datos de la tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones para grava de prefiltro horizontal

Capa	Espesor (m)	Diámetro (mm)
1*	1.00	80-250
2	4,50	30-70
3	4,50	5-12

* Capa de arriba

SEDIMENTACIÓN LAMINAR

La alta turbiedad del agua de una fuente puede reducirse hasta niveles en que se pueden utilizar filtros lentos mediante el empleo de sedimentadores laminares, sin adición de coagulantes.

El sentido del flujo en este tipo de sedimentador es horizontal y combinado con la filtración lenta, puede tratar aguas con turbiedad máxima hasta de 500 UTN, siempre y cuando la turbiedad sea ocasionada por partículas cuyo diámetro sea mayor de una milésima de milímetro.

FILTRACIÓN GRUESA RÁPIDA

La filtración gruesa es un proceso efectuado en una estructura cuyo material filtrante es únicamente grava de $\frac{1}{4}$ de pulgada, acomodada en una caja de concreto ubicada contiguo al filtro lento y tiene por objeto remover la turbiedad excesiva para la posterior filtración. El sentido del flujo es descendente, con una velocidad de filtración de 0.60 m/h lo que es igual a $14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$.

DESARENADORES

En los casos en que la fuente de abastecimiento de agua sea del tipo superficial, se hace necesaria la instalación de un dispositivo que permita la remoción de la arena y partículas de peso específico similar (2.65 g/cm^3), que se encuentran en suspensión en el agua y son arrastradas por ella. Esta es la función que cumplen los desarenadores, cuyos componentes principales son los siguientes:

- a) Dispositivos de entrada y salida que aseguren una distribución uniforme de velocidades en la sección transversal.
- b) Volumen útil de agua para la sedimentación de las partículas, con sección transversal suficiente para reducir la velocidad del flujo por debajo de un valor predeterminado, y con longitud adecuada para permitir el asentamiento de las partículas en su trayectoria.
- c) Volumen adicional en el fondo, para almacenar las partículas removidas, durante intervalo entre limpiezas.
- d) Dispositivos de limpieza y rebose.

VOLUMEN ADICIONAL

El volumen adicional necesario para el almacenamiento de arena removida, se determina en base a las concentraciones esperadas durante crecidas y del intervalo previsto entre limpiezas. Si no se tienen datos específicos, es recomendable proveer un volumen de reserva para una concentración de 3.000 mg/lit , durante una crecida de 24 horas de duración. Para el cálculo se adoptará un peso específico del sedimento de 350 kgs/m^3 .

DISPOSITIVO DE LIMPIEZA

El dispositivo de limpieza consistirá en un tanque colocado en el primer tercio del desarenador y hacia el cual, el fondo del mismo deberá tener una pendiente no menor de 5%. El tanque se conecta con un tubo provisto de una válvula y la limpieza se efectúa aprovechando la carga hidráulica sobre la arena.

COTA DE REBOSE

El tubo de rebose deberá colocarse cerca de la entrada, para evitar sobre cargas al desarenador. La cota del tubo se fijará en relación con la altura deseada de agua de acuerdo a las condiciones hidráulicas del diseño.

UBICACIÓN DEL DESARENADOR

El desarenador deberá ser ubicado lo más cerca posible de las obras de captación. En todo caso la tubería que une la toma con el desarenador deberá tener una pendiente uniforme entre el 2 y 2.5%.

PROCESOS DE TRATAMIENTO

Estos procesos se aplican al agua, después de que se le haya sometido a uno o más procesos de pretratamiento, para mejorar su calidad.

AIREACIÓN

La aireación es un proceso para mejorar la calidad del agua, mediante el cual ésta se pone en contacto íntimo con el aire. El proceso se utiliza para conseguir:

1. Remoción de sabores y olores (algas)
2. Remoción de gases disueltos que perjudican la calidad del agua (gas sulfídrico y sulfuroso)
3. Elevación de pH del agua por la eliminación de dióxido de carbono hasta su punto de equilibrio (bajar la corrosividad)
4. Oxidación de ciertas sustancias existentes en el agua (bicarbonato ferroso y Manganoso)

Una aireación racional, exige el proyecto y construcción de unidades (aireadores), cuya eficiencia es variable de acuerdo a la calidad y cantidad del agua.

Para este objeto, se da a continuación algunos datos importantes que facilitarán el cálculo y elección de aireador.

Remoción de anhídrico carbónico

- a) aguas con menos de 10 gr/m³..... hasta 50%
- b) aguas con más de 10 gr/m³..... 60% a 80%
- c) Tiempo de aireación más eficiente 15 seg

Remoción de gas sulfídrico - Tiempo mínimo de aireación: 3 seg

Remoción de hierro y manganeso. Teóricamente: 140 gr de oxígeno precipitan 1.000 gr de hierro y 124 gr de oxígeno precipitan 1.000 gr de manganeso.

Prácticamente: Deben tomarse el doble de los valores de oxígeno indicados, para reducir la misma cantidad de Fe o Mn.

Tipos de aireadores. A continuación se indican los diferentes tipos de aireadores con sus respectivos parámetros de diseño:

a) Aireadores de gravedad

1. De cascada: Son plataformas circulares de madera o concreto, que se superponen sobre un mismo eje central, en sentido decreciente de sus diámetros de abajo hacia arriba, sobre las cuales se hace pasar el agua a airear.

Capacidad 300 a 1.000 m³/día/m² de la mayor plataforma.

Número de plataformas 3 a 4

Altura total del aireador 0.80 a 1.60 m

Distancia entre plataformas .. 0.20 a 0.50 m

Entrada del agua Por la parte superior (Conviene usar un tubo central de llegada).

Salida del agua De la plataforma de acumulación mediante un tubo localizado en fondo de la plataforma.

2. De tableros o bandejas: Está formado por tableros o bandejas perforadas superpuestas, a través de las cuales pasa el agua. La primera o superior, se destina a la distribución del agua, las demás contienen un material poroso como: grava o escorias volcánicas, para aumentar la eficiencia de la aireación.

Capacidad 300 a 900 m³/día/m²

Números de plataformas o bandeja 3 a 6 unidades

Altura total del aireador 2.10 a 2.70 m

Separación vertical entre tableros 0.40 a 0.60 m

Orificios de distribución:

Primer tablero Orificios o 5 a 10 mm

Otros tableros Orificios o 8 a 15 mm, cada 80 a 100 mm centro a centro

Contenido: Primer tablero	Solo distribución
Demás tableros	grava o escoria, tamaño 0.012 a 0.025 m altura del material 0.20 a 0.25 m
Depósito inferior	Acumulación del agua.

3. De escaleras: Está formado por varios peldaños, sobre los cuales pasa el agua facilitando el contacto con el aire.

Número de escalones.....	2 a 5
Espesor de la lámina de agua (max)	0.05 m
Dimensión de cada escalón: Altura	0.20 a 0.40 m
Ancho	0.25 a 0.45 m
Material.....	Concreto o madera
Pérdida de carga.....	1.00 m
Velocidad.....	1.00 a 1.20 m/s

Debe proveerse de una pestaña o saliente en los escalones para evitar la adherencia de la vena líquida.

4. De plano inclinado: Son plataformas con una cierta pendiente sobre las cuales se colocan pequeños obstáculos para agitar y retardar el escurrimiento del agua.

Capacidad	200 a 500 m ³ /m ² /día
Pendiente.....	1: 2.5 a 1: 3.00
Altura de la vena líquida	0.05m (max)
Pérdida de carga.....	1.00 m
Velocidad.....	1.00 m/s
Material.....	Concreto o Madera

Es necesario colocar y distribuir convenientemente los obstáculos en la plataforma.

b) Aireadores de boquillas:

Son aireadores en los cuales el agua sale a través de varias boquillas con cierta presión, originando la formación de chorros de agua que facilitan el intercambio de gases y sustancias volátiles.

Tiempo de exposición	1.0 a 2.00 segundos
Carga de agua	1.25 a 7.50 m

Pérdida de carga:

En el tubo..... 1/3 de la pérdida total calculada como tubo a presión simple.

c) Difusores de aire:

Son aireadores en los cuales el aire es inyectado a través de difusores, en tanques o cámaras contruidos para tal fin.

Los difusores pueden ser: tubos, placas porosas, campanas o cualquier otro sistema que permita una aireación eficiente.

Caudal de aire	0.35 – 1.50 litros de aire por litro de agua.
Período de retención de la cámara	10 a 30 minutos
Ancho de la cámara.....	3.00 a 9.00 m
Profundidad de la cámara.....	3.00 a 3.70 m
Entrada del aire	2.70 m bajo el nivel del agua.
Potencia necesaria.....	0.3 kw/1000m ³ /día

TRATAMIENTO POR FILTRACIÓN LENTA

La filtración lenta es un proceso de tratamiento del agua, que consiste en hacerla pasar por lecho de arena en forma descendente o ascendente y a muy baja velocidad, siendo sus principales ventajas:

- No hay que utilizar productos químicos (excepto cloro para desinfección)
- Sencillez del diseño, construcción y operación
- No requiere energía eléctrica
- Facilidad de limpieza (no requiere retrolavado)

Las principales desventajas son:

- Poca flexibilidad para adaptarse a condiciones de emergencias.
- Pobre eficiencia en remoción de color (20-30%).
- Necesita una gran área para su instalación.
- Presenta pobres resultados para aguas con alta turbiedad.
- Se necesita una gran cantidad de medio filtrante.

La turbiedad del agua cruda puede limitar el rendimiento del filtro, por lo cual a veces es necesario aplicar algún pretratamiento tal como prefiltrado horizontal o vertical sedimentación laminar o prefiltración rápida en medio granular grueso.

Un filtro lento de flujo descendente consiste en una caja rectangular o circular que contiene un lecho de arena, un lecho de grava, un sistema de drenaje, dispositivos simples de entrada y salida con sus respectivos controles y una cámara de agua tratada para realizar la desinfección.

CRITERIOS DE DISEÑO

a. Calidad del agua

Se deberá verificar que la calidad del agua a filtrarse satisfaga en época seca y lluviosa los límites de aplicación del proceso. Los principales parámetros serán color (menor de 50 unidades) y Turbidez (menor de 50 UNT).

b. Estructura de entrada

Constará de una cámara de distribución con compuertas y rebose. Se instalará un vertedero triangular de pared delgada para aforar el influente. La entrada del agua al filtro se efectuará por medio de un vertedero muy largo de pared gruesa, para obtener una delgada lámina de agua que se adhiera al muro, para evitar que se formen chorros sobre el lecho, que lo dañaría, además se colocará sobre el lecho una placa de concreto para que reciba el impacto del agua.

c. Estructura de salida

Consistirá en un vertedero de control, localizado a una altura mayor que la cota del extremo superior del lecho, de tal manera que el lecho filtrante quede siempre sumergido, éste regulará la carga mínima.

d. Tasa de filtración

e. Medio filtrante.

Que consiste en una capa de arena de 1.20 m de espesor con las siguientes características:

1. Tamaño efectivo: $0.15 \leq TE \leq 0.35$ mm
Coeficiente de uniformidad: $CU \leq 2.00$
2. Grava de soporte en cuatro capas

f. Sistema de drenaje

El sistema de drenaje puede ser de diferentes tipos (1) ladrillos de barro cocidos tendidos de canto, con otros ladrillos encima tendidos de plano dejando un espacio de un centímetro entre los lados. (2) tuberías (PVC) de drenaje, perforadas con orificios no mayores de 1" (2.54 cm), las cuales pueden desembocar en forma de espina de pescado a un conducto o tubería central o a un pozo lateral con una pendiente del 1% a 2%. (3) bloques de concreto poroso en forma de puente, que confluyen a un canal central.

g. Número de unidades

Se recomienda el uso de dos unidades como mínimo, en cuyo caso cada una de ellas deberá diseñarse para atender el consumo máximo diario. Debe considerarse una capacidad adicional de reserva como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 5. Unidades de reserva según población

Población	Unidades	Unidades de reserva
Menor de 2.000	2	100%
2.000 a 10.000	3	50%

h. Caja de Filtro

La caja del filtro puede ser rectangular o circular con un borde libre de 0.20 m, construida de concreto simple o reforzado y deberá ser resistente a las diferentes fuerzas que estará sometida durante su vida útil, además deberá ser hermética para evitar pérdidas de agua e ingreso de agentes contaminantes.

En el caso de cajas rectangulares las dimensiones deberán estar en la proporción que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Relación entre largo y ancho según unidades

Número de unidades	Largo:Ancho
2	1:1.33
3	1:1.50
4	1:2.00

i. Dispositivos de regulación y control

Estos dispositivos estarán constituidos por: vertederos, válvulas u otros accesorios, instalados en la entrada o salida del filtro, para mantener la velocidad de filtración a una tasa constante.

MEDIO FILTRANTE

En este caso se recomienda un medio filtrante de granos gruesos para asegurar la obtención de carreras de filtración más largas.

a. Lecho simple de arena:

- Espesor (m) 0.70 – 2.00
- Tamaño efectivo (mm) 0.70 – 2.00
- Coefficiente de uniformidad ≤ 1.60
- Coefficiente de esfericidad 0.70 – 0.80
- Tamaño del grano mayor (mm) 2.00
- Tamaño del grano menor (mm) 0.59

b. Lecho simple de antracita:

- Espesor (m) 1.00 – 2.00
- Tamaño efectivo (mm) 1.00 – 2.00
- Coefficiente de uniformidad ≤ 1.60
- Coefficiente de esfericidad 0.60 – 0.70
- Tamaño del grano mayor (mm) 2.40
- Tamaño del grano menor (mm) 0.70

Este tipo de lecho deberá utilizarse cuando se necesita operar con tasas de filtración muy elevadas.

TASA DE FILTRACIÓN

La tasa de filtración debe fijarse en relación con la granulometría del medio filtrante, la calidad de agua cruda y las dosis de sustancias químicas a ser utilizadas. Esta decisión debe ser tomada en base a los resultados de un estudio con filtros pilotos.

Tomando en consideración el período de retención tan corto de este tipo de planta (solo mezcla y filtración) y lo vulnerable que son los filtros a una operación y mantenimiento

deficientes, se recomienda tasas de filtración conservadoras del orden de 120 a 160 m³/m²/día, para lecho simple de arena y de 170 a 240 m³/m²/día para lechos dobles de arena y antracita.

RED DE DISTRIBUCIÓN

Una vez se ha captado, tratado y conducido el agua, se hace la distribución. La cual debido a la dispersión de la población en la mayoría de los casos en el área rural, se decide abastecer a la población mediante puestos públicos. Tal como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Puesto público en la comunidad La Montañita-Estelí
(Fuente Chavarría, F. 2008)

3. INFRAESTRUCTURA PARA AGUA DE RIEGO

Para determinar diseño de infraestructura para abastecer sistemas de riego se debe contar con una serie de datos; entre estos: datos climatológicos (horas luz, precipitaciones, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, etc), de suelo (características físicas sobre todo), acerca del cultivo (ciclo, fases fenológicas, distanciamiento, etc), fuente de abastecimiento (caudal, calidad química-física y biológica, etc), terreno (topografía, forma, dimensiones, etc), entre tantos otros. (Chavarría, F 2007)



Figura 5. Represa para riego (Foto Chavarría, F. 2008)

La infraestructura de sistemas de riego dependerá sobre todo del tipo de riego que se vaya a establecer así como el área a irrigar y las características físicas del suelo.

En el caso de fuentes superficiales, lo más común es construir pequeñas represas sobre el curso del cuerpo de agua, teniendo el cuidado de dejar correr parte del flujo.

OBRAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Con la promulgación de leyes que regulan el uso del agua, ya no se permite la construcción de este tipo de infraestructura (represas) a menos de que se trate de proyectos de interés colectivo y obedezca a estudios científicos bien sustentados a fin de evitar o reducir impactos ambientales que superen los beneficios que se vayan a conseguir.

El primer paso para diseñar infraestructura de riego es determinar el volumen que se requiere por parte del cultivo, así como la duración o ciclos de producción que se vayan a implementar. Se debe de planificar el uso sostenible e intensivo del sistema que se vaya a construir. Esto a fin de que la inversión sea aprovechable al máximo sin que ello signifique el daño al medio ni a la biodiversidad tanto faunística como florística. De esta manera los productores verán que el esfuerzo vale la pena.

Como uno de los componentes del sistema de riego, está la captación. Para decidirse por el tipo de captación a construir, se deben de cumplir ciertos criterios, entre los cuales se pueden aplicar los siguientes:

Tabla 7: Criterios para selección de alternativas de captación.

No.	CRITERIOS	ESCALA DE ACEPTACIÓN			
		0	1	2	3
1	Facilidad de realizar	difícil	moderado	regular	facil
2	Facilidad de dar mantenimiento	difícil	moderado	regular	facil
3	No necesita mano de obra calificada	mucha	medio	regular	nada
4	Costos de construcción	alto	medio	regular	bajo
5	Volumen de almacenamiento	muy poco	regular	bastante	mucho
6	Acorde a las necesidades de la población	no	regular	medio	alto
7	Uso de material local	no	menos	mucho	todo
8	Aceptabilidad de la tecnología	no aceptable	regular	medio	aceptable

Fuente: Cajina, M.J. (2006)

Para construir una obra de captación debemos de ver que sea fácil de construir, así como de darle mantenimiento, que no tengamos que recurrir a contratar mano de obra calificada que muchas veces es costosa, que requiera lo menos posible de material foráneo, entre otros criterios.

En la mayoría de los casos las tecnologías aunque muy buenas no son aceptadas por los productores, debido a que no responden necesariamente a sus demandas o deben ser operadas a muy alto costo, lo que les hace que al poco tiempo dejen de ser utilizadas, perdiéndose con ello la inversión realizada.



Figura 6. Captación de agua de tejados

Una de las opciones para captar agua para usos de riego, consumo humano o bien para ganado, es capturar el agua de lluvia que cae sobre los techos de las viviendas rurales, sobre todo en las zonas áridas o donde escasean las fuentes de agua superficiales o la profundidad del mano freático no hace rentable su extracción.

A continuación se presenta lista de requerimientos de materiales y mano de obra para una captación de agua de lluvia proveniente del techo de construcción. La lista corresponde a una captación que tiene capacidad de almacenar 33,000 litros de agua. Luego sólo se debe de investigar el precio unitario de los materiales y de mano de obra a nivel local. (Experiencia de TROPISEC, en la zona de las Segovias, Nicaragua, 2006)

Tabla 8. Demanda de material y mano de obra (33 m³)

Descripción de la inversión	UM	Cantidad
Polietileno industrial 48*1000	Metro	63
Canal plástico colonial pvc 6m	Unidad	2
Bajantes de canal plástico pvc	Unidad	1
Tapaderas de canal Plástico pvc	Unidad	2
Uniones de canal pvc	Unidad	40
Tubo pvc sanitario de tres pulgadas	Unidad	1
Codo de tres pulgadas	Unidad	1
Reductor de tres por dos pulgadas	Unidad	1
Manguera de polietileno 1 "	Metro	100
Energía para pegar polietileno 1 kwh	Hora	10 hras
Varilla de hierro mm 1/4 * 6m	Unidad	2
Grapas metálicas	Libra	1
Papel periódico	Libra	3
MANO DE OBRA		
Excavación de Zanja de almacenamiento 20 x 1.3 x 1	Día/Hombre	12
Área de descargue	Día/Hombre	1
Pegado de polietileno	Día/Hombre	4
Conformación de zanja	Día/Hombre	2
Instalación de sistema SCAPT	Día/Hombre	4
Elaboración de estribos metálicos para canal	Unidad	20
TRANSPORTE DE MATERIAL		
Acarreo 1 viaje	Viaje	1
TOTAL		

La lista anterior en su mayoría corresponde a materiales que son fáciles de obtener en cualquier centro poblado en el área rural. Pero podrían ser sustituidos por bambú (canales, tubo pvc y manguera), arcilla (polietileno), alambre de púas (estribos), y otros materiales de más bajo costo y que se podrían encontrar fácilmente en las comunidades.

Las lagunetas o reservorios se construyen para almacenar el agua captada desde los techados o bien desde un área de recarga directamente del terreno.



Figura 7. Laguneta en la zona seca Las Segovia (Cajina, M.J)

Se debe darle un talud de descanso para impedir o reducir riesgo de derrumbe. Además debe de impermeabilizarse el fondo y paredes con polietileno o con arcilla.

Según el tipo de riego además se deberá construir sistema de filtración, tanques para mezcla de fertilizantes o simplemente para almacenamiento en caso de requerir de mayor presión.

FILTRACIÓN

En el caso de uso de filtros, la elección del modelo de filtro, así como la determinación del momento para la limpieza, se hace en función de las pérdidas de carga que produce. Un filtro de malla limpio debe presentar, para su caudal de funcionamiento, unas pérdidas de carga del orden de 2 metros de columna de agua (m.c.a) y se debe proceder a la limpieza del mismo cuando las pérdidas de carga que se produzcan en la red sean de unos 4-6 m.c.a. Si se permiten mayores pérdidas de carga el filtro pierde eficacia y se puede llegar a romper la malla. Esta cifra de 4-6 m.c.a. es la que hay que tener en cuenta en el cálculo de la instalación (bombas, etc.).

CLASIFICACIÓN DE FILTROS

Los filtros de malla pueden clasificarse también en tres tipos:

- Verticales
- Inclinaos
- Horizontales

VERTICALES: Con orificio de entrada y salida a 90°, las tomas roscadas de 2" y 3", cartuchos de PVC con la malla por el exterior para facilitar su limpieza manual, pudiéndose lavar sin desmontar.

INCLINADOS: Fabricados en Y, desde 2" y 3" (malla exterior) y desde 4" a 10" (malla interior), inclinación a 30° y 45°, según modelo.

HORIZONTALES: Tipos en L utilizados solo para grandes caudales, con malla estándar para goteo, tipo para pivote con malla estándar de 1,5 de luz y automáticos en U con proceso de autolavado automático, desde 3" a 12", con presostato diferencial y mecanismo interno con boquillas aspiradoras.

Los filtros de malla realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo aquellas partículas de tamaño superior al de los orificios de malla. Esto hace que su colmatación sea mucho más rápida que la de los filtros de arena. Por esta razón se suelen utilizar con aguas no muy sucias que contengan partículas de tipo inorgánico, o como elementos de seguridad después de hidrociclones, filtros de arena o equipos de fertirrigación. Cuando las aguas contienen algas su uso no está indicado, por que se colmatan rápidamente y dejan pasar las impurezas.

Existe una clasificación que distingue entre "cartuchos" y filtros de malla propiamente dicho. La diferencia entre ambos no es demasiado importante y se refiere exclusivamente al tamaño: Los cartuchos son filtros pequeños para caudales de menos de 10 m³/h.

Están especialmente indicados para la retención de partículas de origen mineral, ya que la materia orgánica con estructura fibrosa, suele colarse con relativa facilidad a través de los orificios de la malla. Estos filtros deben ser capaces de retener partículas cuyo tamaño sea superior a 1/8 del diámetro de mínimo de paso del emisor que se piensa instalar.

En cualquier instalación de riego localizado se debe disponer de al menos un filtro de mallas o anillas de riego localizado, para retener las partículas de origen mineral que puedan llevar el agua en suspensión.

Las mallas que se colocan en el interior del filtro pueden ser de materiales y características diferentes (acero inoxidable o de plástico (poliester, nylon, etc)). El parámetro que comúnmente se utiliza para evaluar la capacidad de retención del filtro es el número de mesh, que se define como el número de orificios por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo, así se dice una malla de 120 mesh o 120 orificios.

En la definición se puede observar que el número de mesh se puede observar que no se refiere en ningún caso al tamaño, sino al número de orificios. Dos cartuchos con el mismo número de mesh pueden presentar tamaños de orificio diferentes, según la malla este construida en uno u otro material, en función del grosor de los hilos que lo constituyen. Los hilos de acero son más finos que los de plástico, por lo que a igualdad de mesh, los orificios de malla de acero son mayores que los de plástico.

El número de mesh puede ser por lo tanto, un dato orientativo sobre la capacidad de filtrado de una malla, pero bajo nuestro punto de vista resultaría más recomendable la adopción de la luz de la malla (tamaño del orificio expresada en mm) como parámetro

para definir la capacidad de retención del filtro, evitándose las posibles confusiones a que pueda dar lugar el empleo del número de mesh.

Tabla 9. Tamaño de orificio según mesh.

Nº de mesh	Orificio (μm)	Nº de mesh	Orificio (μm)
3,5	5.600	32	500
4	4.750	35	425
5	4.000	42	355
6	3.350	48	300
7	2.800	60	250
8	2.360	65	212
9	2.000	80	180
10	1.700	100	150
12	1.400	115	125
14	1.180	150	106
16	1.000	170	90
20	850	200	75
24	710	250	63
28	600		

Para mallas de acero inoxidable se puede dar la siguiente tabla, que relaciona el tamaño de los orificios con el número de mesh. Las mallas estándar son las comprendidas entre 100 y 200 mesh.

Para mallas fabricadas en otros materiales se debe consultar a los fabricantes de los cartuchos acerca de la luz de paso de la malla. En las mallas fabricadas en otros materiales, por ejemplo nylon, no se pueden citar valores exactos, pues el porcentaje de huecos depende del grosor del nylon utilizado por cada fabricante. No obstante hemos comprobado que hasta 120 mesh tienen aproximadamente las mismas características que si fueran metálicas.

En la elección de un filtro de malla hay que determinar la superficie de la malla y el tamaño de los orificios, es decir su número de mesh. Para esto último un criterio usado comúnmente es que el tamaño del orificio sea aproximadamente 1/7 del menor diámetro de paso del gotero, valor que se puede elevar a un 1/5 en el caso de microaspersión. Ello es debido, además de la posible entrada de una partícula por su dimensión menor, a que se pueden aglutinar partículas una vez que hayan superado el paso a través de las mallas. El empleo de mallas más finas no es recomendable porque aumenta la frecuencia de las limpiezas y los problemas potenciales que acompañan a la colmatación de las mallas.

La superficie de malla se calcula en función del caudal Q , incrementada en un 20 % en concepto de margen de seguridad, y en función de los valores aceptables de la velocidad real (velocidad a través de los orificios).

Tabla 10. Velocidad de flujo según calidad de agua

Tamaño orificio (micras)	Calidad de agua	V (m/s)
300-125	Limpia	0,4-0,9
300-125	Con algas	0,4-0,6
125-75	Cualquiera	0,4-0,6

Los límites de velocidad de la tabla anterior equivalen a un caudal por área neta y por área efectiva de malla. Que para mayor facilidad en el cálculo se indican en la tabla siguiente:

Tabla 11. Caudal según velocidad del flujo

V (m/s)	m ³ /h por m ² de área neta	m ³ /h por m ² de área total*
0,4	1.440	446
0,6	2.160	670
0,9	3.240	1004

* Valido solo para filtros de malla metálica: calculada según $A_n = 0,9 \cdot 0,34 \cdot A_t$

Los datos contenidos en las tablas 9, 10 y 11, nos permitirán conocer el tipo de filtro que debemos de adquirir según el tipo de riego, la calidad del agua con que contamos y la velocidad con que se desplazará el agua en el cuerpo del filtro.

En base a un buen cálculo se nos facilitará la operación y mantenimiento y se evitarán inconvenientes a la hora del riego tales como atascamientos y frecuentes limpiezas, lo cual encarece la operación del sistema.

BOMBEO DEL AGUA

Para extraer o impulsar el agua, se requiere de bombeo, ya sea este de manera manual o mecánica. Cualquiera sea el método se debe de conocer datos que son básicos, como la altura de extracción o de impulsión, el caudal a bombear, la temperatura del agua, entre otros.

El bombeo puede realizarse a través de bombas manuales como la de la figura 8, que funciona a través de pedales y puede impulsar el agua hasta una altura de 10 metros (según cilindro y tubería utilizada).

Otra alternativa es el uso de bomba emaflexi, que puede ser construida fácilmente en la misma comunidad y con un relativo bajo costo. Con el uso de la emaflexi se ahorra la compra de bomba de motor y el posterior uso de combustible, que día a día sube de precios.

En los años 90 se introdujo una nueva tecnología, que consiste en el uso de la bomba de mecate. En esencia la bomba de mecate es una bomba volumétrica de desplazamiento



Figura 8. Bomba manual de pedal (Chavarría, F 2010)

positivo que basa su funcionamiento en la captura y confinamiento de una sucesión de pequeños volúmenes de agua que, de manera similar a una noria, eleva hasta el brocal del pozo, o hasta una altura superior, 3-6 metros. Para conseguir este objetivo se dispone una cuerda que arrastra un tren de pistones separados 1 metro, a los que atraviesa por un orificio central. Cuando se hace pasar la cuerda con los pistones por el interior de un tubo de plástico, de diámetro algo mayor que los pistones, con suficiente holgura para su deslizamiento, el agua, que ha sido atrapada en el tramo sumergido del tubo vertical, se eleva con la cuerda ya que los pistones impiden su retroceso por el tubo. A la altura requerida se dispone una salida lateral del tubo por la que el agua es conducida por gravedad hasta el depósito elevado. La cuerda continúa su camino e invierte su dirección ascendente rodeando una rueda superior, tras la que se dirige hacia la rueda tractora inferior situada cerca del nivel del suelo, que tira de la cuerda al forzar manualmente su giro, y de ahí desciende de nuevo al pozo en un circuito cerrado. (Bonilla, J 2004)

DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

La parte final del sistema de riego es la distribución, la que se hace a través de aspersores, goteros, microaspersores, según sea el sistema de riego utilizado.

Los emisores se insertan o instalan sobre los laterales que son por así decirlo los ramales del sistema de distribución. La distancia entre cada emisor dependerá de la longitud del chorro (en el caso de aspersores), o del diámetro de bulbo humedecido (goteros).

Los aspersores se instalan con un traslape de hasta 35% de la longitud del chorro, esto puede variar según sea la velocidad del viento que prevalezca. No se recomienda operar sistema cuando el viento supera 10 km/hora ya que hace costoso e ineficiente el riego (debe darse traslape de 70% de longitud del chorro). En estos terrenos es más bien recomendable hacer uso de riego por goteo o microaspersión.

4. TIPOS DE RIEGO

RIEGO POR GOTEO

El riego localizado es la aplicación del agua al suelo, en una zona más o menos restringida del volumen radicular. El riego por goteo es la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo mediante emisores o goteros localizados en puntos específicos a lo largo de laterales de riego. El agua emitida se mueve a través del suelo mayormente por flujo no saturado. Así se mantienen unas condiciones favorables de humedad en la zona de las raíces de las plantas y se propicia su desarrollo óptimo.

Figura 9. Mini sistema de riego demostrativo en UCATSE
(Fuente Chavarría, F. 2010)



La demanda competitiva por agua es cada vez más aguda en la mayor parte del mundo. Por tanto, es necesario encontrar la forma de mejorar la eficiencia del uso del agua particularmente para fines agrícolas.

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficaces que se ha diseñado para usar el agua en los cultivos agrícolas. Este sistema se ha utilizado mucho en las regiones áridas del mundo.

Los sistemas de riego por goteo diseñados y mantenidos adecuadamente son capaces de propiciar altos rendimientos. La eficiencia en el diseño debe ser del orden del 90 al 95%. Con cuidado y mantenimiento razonables, los rendimientos en el campo pueden fluctuar entre 80 a 90%. Donde la obstrucción es un problema, o el rendimiento del emisor es altamente variable, la eficiencia en el campo puede ser tan baja como un 60%, lo que depende como ya se señaló de un manejo deficiente.

Se cree que el riego por goteo se empezó a usar en 1950, cuando un ingeniero israelí observó que un árbol cerca de un grifo, que goteaba agua, mostraba un crecimiento más vigoroso que los otros árboles del área. Sin embargo, el origen del concepto básico de riego por goteo puede remontarse al 1860 en Alemania, cuando se desarrolló un sistema de riego por goteo soterrado. Como parte del desarrollo de este sistema se realizaron trabajos en los Estados Unidos a partir del 1913. Para el 1920, en Alemania se utilizaron tubos perforados, pero no fue hasta el desarrollo de los tubos plásticos, durante y después de la segunda guerra mundial, que el riego por goteo empezó a ser económicamente aceptable.

TIPOS DE RIEGO POR GOTEO

Se distinguen cuatro clases de riego localizado:

- 1) **Riego por goteo:** se llama así a los sistemas que aplican el agua con caudales inferiores a 16 lph por punto de emisión o metro lineal de manguera de goteo. Se llama: "goutte à goutte" en francés; "drip" o "trickle irrigation", en inglés; "gotejamento" o "irrigação por gotejo" en portugués; "irrigazione a goccia" o "diuturnal" en italiano.
- 2) **Riego por microaspersión:** son sistemas con caudales inferiores a 200 lph por punto de emisión, con emisores que se llaman difusores cuando se trata de toberas fijas, o miniaspersores cuando disponen de alguna parte en movimiento de rotación, y su alcance no supera los 3 m.
- 3) **Riego subterráneo:** se caracteriza por la aplicación del agua bajo la superficie del suelo.
- 4) **Riego al xilema:** Aplicación de agua y nutrientes directamente al xilema.

VENTAJAS

El riego localizado es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, que sea en cultivos en línea (mayoría de los cultivos hortícolas o bajo invernadero) o en plantas (leñosas) aisladas. Este sistema de riego presenta diversas ventajas desde todos los puntos

de vista (agronómicos, técnicos y económicos), derivados de un uso más eficiente del agua y de la mano de obra. Además, permite utilizar caudales pequeños de agua.

Entre las principales ventajas del sistema de riego por goteo podemos mencionar:

A. Uso eficiente del agua:

1. Se reducen considerablemente las pérdidas directas por evaporación.
2. Al no causar humedecimiento del follaje, contribuye a reducir afectación por enfermedades fungosas y bacterianas.
3. No causa movimiento de gotas de agua por efecto del aire.
4. Inhibe el crecimiento del consumo de agua de yerbajos.
5. Reduce riesgo de pérdidas de suelos al eliminar el escurrimiento superficial.
6. Permite regar todo el predio hasta los bordes.
7. Permite aplicar el riego a una profundidad exacta.
8. Permite regar mayor área con una cantidad de agua específica.

B. Reacción de la planta:

1. Aumenta el rendimiento por unidad (hectárea-centímetro) de agua aplicada.
2. Mejora la calidad de la cosecha.
3. Permite obtener un rendimiento más uniforme.

C. Ambiente de la raíz:

1. Mejora la aeración.
2. Aumenta la provisión de nutrientes disponibles.
3. Crea una condición casi constante de retención de agua a baja tensión el suelo.

D. Combate las plagas y enfermedades:

1. Aumenta la eficiencia de las aspiraciones de plaguicidas.
2. Reduce el desarrollo de insectos y de enfermedades.

E. Corrección de sanidad:

1. El aumento en sales ocurre a una distancia mayor de la planta.
2. Reduce los problemas de salinidad. Se consigue mayor reducción aumentando el flujo de agua.

F. Combate de malezas:

1. Reduce el crecimiento de malezas en el espacio húmedo sombreado.

G. Práctica y efectos agronómicos:

1. Las actividades del riego no interfieren con las del cultivo, las aspersiones y la cosecha.

2. Reduce la necesidad de cultivo, ya que hay menos malezas, endurecimiento superficial y compactación.
3. Ayuda a controlar la erosión.
4. Permite aplicar el abono con el agua de riego.
5. Aumenta la eficiencia del trabajo en huertos frutales al mantener los espacios entre las hileras, secos y nivelados.

H. Beneficios económicos:

1. El costo es bajo comparado con el sistema de pisteros aéreos y otros sistemas permanentes.
2. Los costos de operación y mantenimiento son, a menudo, bajos. Los costos son altos cuando la distancia media es de menos de 3 m.
3. Se puede usar en terrenos accidentados.
4. La eficiencia de aplicación es alta. Permite utilizar tubería de menos diámetro y requiere menos fuerza propulsora.

INCONVENIENTES

Sus principales inconvenientes son:

- a) El costo elevado de la instalación. Se necesita una inversión elevada debida a la cantidad importante de emisores, tuberías, equipamientos especiales en el cabezal de riego y la imperiosa necesidad de un sistema de control automatizado (electroválvulas). Sin embargo, el aumento relativo de costos con respecto a un sistema convencional no es prohibitivo.
- b) El alto riesgo de obturación (“clogging” en inglés) de los emisores, debido a partículas en suspensión (sólidos suspendidos y sólidos sedimentables) y el consiguiente efecto sobre la uniformidad del riego. Esto puede ser considerado como el problema N° 1 en riego localizado.
- c) La presencia de altas concentraciones de sales alrededor de las zonas regadas, debida a la acumulación preferencial en estas zonas de las sales. Esto puede constituir un inconveniente importante para la plantación siguiente, si las lluvias no son suficientes para lavar el suelo.
- d) Ataque por parte de roedores e insectos a las mangueras

EL GOTERO

Los dispositivos de emisión de agua (goteros) son únicos para el sistema de riego por goteo. Los goteros descargan agua en pequeñas cantidades a través de unos orificios pequeños. La reducción en la presión a través de los emisores debe ser lo suficientemente mayor para contrarrestar la diferencia de presión que la topografía y las pérdidas de

fricción causan. Estas contradicciones en las exigencias de diseño han promovido la manufactura de varias clases de dispositivos de emisión.

Los goteros se pueden dividir en dos categorías que se afincan en las aplicaciones en el campo:

1. Goteros perforados en el ramal.
2. Goteros adaptados al ramal de goteo.

El gotero perforado en el ramal se utiliza para el cultivo en hileras a corta distancia, como por ejemplo, hortalizas y algunas frutas. También se puede utilizar para el riego en el invernadero. El gotero consiste en una serie de perforaciones igualmente espaciadas a lo largo de un tubo de pared sencilla o doble. El grado de descarga se da usualmente en litros por minuto, por unidad de largo, y fluctúa desde tres a cuatro (3 a 4) litros por minuto por 30 m de línea.

La presión de operación de estos goteros fluctúa desde 2 a 30 psi. Sin embargo, la mayoría opera a menos de 15 psi. La tubería se instala con ramales hasta de 90 m de largo. Estos ramales están limitados por la capacidad de movimiento del agua y por el desnivel de la superficie del terreno.

Los goteros adaptados en la línea se deben utilizar solamente en terrenos con poco desnivel para mantener una descarga uniforme. Porque la presión de operación es baja, un cambio moderado en la elevación causa una amplia variación en la descarga. Conviene consultar con un ingeniero para el diseño de estos sistemas.

Una de las consideraciones sobre los goteros que se utilizan en terrenos desnivelados es la variación en la descarga con cambios en la presión debido a cambios de elevación. Hay una clase de gotero compensador de presión que tiene aproximadamente el mismo promedio de descarga en un amplio intervalo de presión en la línea.

En los goteros perforadores en la línea y muchos emisores de la clase adaptable se observan cambios en grados de flujo que fluctúan desde moderado a mucho de acuerdo a los cambios en la presión.

El gotero adaptado se utiliza para frutales y ornamentales. Aquí las plantas no se encuentran cerca del ramal. También se utiliza para el riego de plantas en macetas en el invernadero. Esta clase de gotero es individual, normalmente se conecta a una manguera plástica.

La presión de agua se reduce en el gotero a un grado bajo de flujo. El agua tiene que pasar por medio de largos laberintos, cámaras de torsión, orificios pequeños y otros arreglos antes de descargar. Algunos diseños permiten pasar partículas de tamaño moderado y liberarse fuera. Hay goteros de esta clase que se limpian automáticamente con bajas presiones. La presión de operación para esta clase de goteros varía de 5 a 60 psi. El promedio de flujo es de 2 a 7.6 litros por hora.

FACTORES DE QUE DEPENDE EL SISTEMA POR GOTEO

La duración del período de riego se puede determinar después de conocer lo siguiente:

1. Requerimientos de agua por parte de la planta.
2. Intervalos entre las aplicaciones.
3. Caudal o gasto del gotero.

Los cálculos utilizados en el diseño del sistema de riego por goteo son tomados de Avidan, A (1994), Savaldi, D, Tarchitzky (1998), Goyal y Ramírez (2007) se enumeran a continuación.

- 1) Lámina Disponible a Profundidad de Raíces (LDZr) en mm/Zr
- 2) Volumen Disponible a Profundidad de Raíces (VDZr) en m³/ha/zr
- 3) Lámina Aprovechable a Profundidad de Raíces (LAZr) en mm/zr
- 4) Porcentaje de Área Bajo Riego (Par) en %
- 5) Porcentaje de Área Bajo Riego/planta (Parp) en %
- 6) Comparación entre Área Máxima y el Área Mínima de Riego con relación a Parp. Si $Par \leq MxAR$, se acepta, si además $Par \geq MiAR$, se acepta
- 7) Diámetro Humedecido por el Gotero (d) en m
- 8) Precipitación Horaria (Phr) en mm/hr
- 9) Comparación Phr y la Velocidad de infiltración del Suelo (I) si $Phr \leq I$ se acepta
- 10) Evapotranspiración (Etc) en mm/día
- 11) Intervalo de Riego (IR) en días
- 12) Intervalo Ajustado (IRaj) en días. Número entero
- 13) Ciclo de Riego (CR) en días
- 14) Lámina de Riego Ajustada (Lraj) en mm
- 15) Comparación entre Lraj y LAZr, si $Lraj \leq LAZr$ se acepta
- 16) Porcentaje de Agua Aprovechable Ajustada (Paaj) en %.
- 17) Comparación entre Pa y Paaj. Si $Paaj \leq Pa$ se acepta
- 18) Lamina Bruta (LB) en mm
- 19) Dosis Bruta (DB) en m³/ha
- 20) Dosis Bruta por Planta (DBp) en m³/ha
- 21) Horas por Turno (Ht) en h/turno
- 22) Turnos por Día (Td) en turnos/día
- 23) Horas de Riego por Día (Hd) en h/día
- 24) Horas por Ciclo (Hc) en h/ciclo
- 25) Turnos por Ciclo (Tc) en turnos/ciclo
- 26) Superficie por Turno (St) en ha/turno

- 27) Dosis Bruta por Turno (DBt) en m³/turno
- 28) Caudal Requerido (Qr) en m³/h
- 29) Comparación entre Qr y Qs, si $Q_r \leq Q_s$ se acepta
- 30) Número de Emisores por Turno (Emt) en números enteros
- 31) Volumen Bruto por Ciclo (VBc) en m³/ciclo
- 32) Volumen Bruto por Ciclo en Frutales (CBF) m³/ciclo
- 33) Caudal Específico (Qe) en m³/ha/h.

Fórmulas para cálculos necesarios para diseño

- 1) $LDZr \text{ (mm/zr)} = (HCC-PMP) \cdot (Pea/Pew) \cdot Zr \cdot 10$, donde HCC es la capacidad de campo del terreno, PMP el punto de Marchitez Permanente, Pea representa la Densidad Aparente del Suelo, Pew, el peso específico del agua y Zr la profundidad efectiva de raíces del suelo.
- 2) $VDZr \text{ (m}^3\text{/ha/zr)} = LDZr \cdot 10$
- 3) $LAZr \text{ (mm/zr)} = (LDZr \cdot Pa) / 100$, en donde Pa es Porcentaje Aprovechable
- 4) $d \text{ (m)} = (qe / 0.785 \cdot l)^{1/2}$, donde qe, representa caudal del emisor o gotero
- 5) $Parp \text{ (\%)} = ((100 \cdot 0.785 \cdot d) / de \cdot dl) \cdot (a^\circ / 360^\circ)$, donde de representa el distanciamiento entre emisores (goteros) y dl la distancia entre los laterales
- 6) $Phr \text{ (mm/h)} = (qe \cdot 100) / de \cdot dl \cdot Par$
- 7) Comparación entre Phr e I. Si $Phr \leq I$, se acepta
- 8) Uso Consuntivo (ETc) calculado a través de tanque evaporímetro = $Etan \cdot Ktan \cdot Kc$
- 9) $IR \text{ (días)} = (LAZr \cdot Par) / ETc \cdot 100$
- 10) $IRaj \text{ (días)} = \text{Número Entero}$
- 11) $CR \text{ (días)} = IR - dp$. En donde dp representa los días de paro
- 12) $LRaj \text{ (mm)} = (IRaj \cdot ETc \cdot 100) / Par$
- 13) Comparar LRaj con LDZr. Si $LRaj \leq LDZr$ se acepta
- 14) $Paaj \text{ (\%)} = (LRaj \cdot 100) / LDZr$
- 15) Comparar Paaj y Pa. Si $Paaj \leq Pa$, se acepta
- 16) $LB \text{ (mm)} = (LRaj \cdot 100) / Ef$. Siendo Ef la eficiencia con que operará el sistema
- 17) $DB \text{ (m}^3\text{/ha)} = (LB \cdot Par) / 10$
- 18) $Ht \text{ (h/turno)} = LB / Phr$
- 19) $Td \text{ (turnos/día)} = Hm / Ht$ (debe señalarse número entero). Hm representa la norma bruta del riego
- 20) $Hd \text{ (h/día)} = CR \cdot Ht$
- 21) $Tc \text{ (turno/ciclo)} = CR \cdot Td$
- 22) $St \text{ (ha/turno)} = Sr / Tc$
- 23) $DBt \text{ (m}^3\text{/turno)} = St \cdot DB$

24) $Q_r \text{ (m}^3\text{/h)} = DBt/Ht$

25) Comparar descarga disponible con Q_r . Si $Q_r \leq Q_s$, se acepta. Q_s no es más que el agua que se dispone para riego

26) $E_{mt} \text{ (e/turno)} = (Q_r * 1000)/q_e$

27) $V_{Bc} \text{ (m}^3\text{/ciclo)} = DBt * T_c$

28) $Q_e \text{ (m}^3\text{/ha/h)} = Q_r/A_3$.

MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA

LA LIMPIEZA DE LOS RAMALES

El mantenimiento y limpieza de los ramales principales, secundarios y laterales es indispensable para el buen funcionamiento de un sistema de riego por goteo. Algunos filtros atrapan las partículas más grandes como arcilla y arena que entran al sistema. Con la velocidad del agua el tamaño de algunas partículas se reduce y pasan a través del filtro llegando a los ramales secundarios y laterales. Estas partículas pequeñas tienden a asentarse en los ramales y causan obstrucciones. Si el sedimento es de 50 ppm, un sistema de operaciones se tardaría más de 140 horas para llenar hasta la mitad los últimos 46 metros del ramal lateral.

La limpieza periódica en los ramales elimina dichas obstrucciones. El ramal principal y el secundario deben tener un largo suficiente al final para producir una velocidad de flujo que sirva de limpieza o descarga. En los ramales laterales, la velocidad de flujo debe ser de 30 metros/seg. que es la adecuada para la limpieza. Se limpia primero el ramal principal, luego el secundario, y por último, los ramales laterales. Solamente se abren varios ramales al mismo tiempo cuando la presión de agua es adecuada. Si la presión no se puede sostener con todos los ramales abiertos, se abren solamente algunos.

El tiempo de limpieza debe ser suficiente hasta que el agua que corre fuera esté limpia. Un programa regular de inspección, mantenimiento y limpieza ayuda mucho a prevenir las obstrucciones de los emisores. La naturaleza del sistema de filtración, la calidad del agua y la experiencia determinan cuando es necesario limpiar los ramales. El mantenimiento debe ser cuando el sistema de riego por goteo está sin uso (no exista necesidad de regar). Esta práctica de mantenimiento ayuda a prevenir daños por sedimentos alojados en los ramales y obstrucciones a los goteros cuando el agua vuelva a fluir por el sistema. También ayuda a prevenir formaciones de limo, además de evitar que las hormigas e insectos invadan el sistema.

SISTEMA RIEGO POR ASPERSIÓN

TIPOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

a) Según fuerza que los hace funcionar:

1. Por gravedad, si los campos regados están en una cota inferior a la captación, por ejemplo para el riego de campos situados aguas abajo de una presa;

2. Por bombeo, cuando se trata de utilizar agua de pozo, o para regar terrenos que se encuentran a una cota superior a la del embalse de regulación;

b) Según fines específicos

1. Riego por aspersión para “colorear fruta”
2. Riego por aspersión para limitar los daños de las heladas.

VENTAJAS DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

a) La eficiencia del riego por aspersión es de un 80 % frente al 50 % en los riegos por inundación. En estos el ahorro en agua es un factor muy importante a la hora de valorar este sistema.

b) Especialmente útil para distintas clases de suelos ya que permite riegos frecuentes y poco abundantes en superficies poco permeables.

c) Puede ser utilizado con facilidad en terrenos colinares o con pendientes.

d) Se puede dosificar el agua con una buena precisión.



Figura 10. Riego por aspersión en campo de alfalfa y maíz en Matagalpa (Fuente: Chavarría, F. 2010)

INCONVENIENTES DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

a) El consumo de agua es mayor que el requerido por el riego por goteo.

b) Se necesita conocer bien la distancia entre aspersores, para tener un coeficiente de uniformidad superior al 80 %.

c) Daños a las hojas y a las flores. Las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden, y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas.

d) Requiere una inversión importante. El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.

e) El viento puede afectar. En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.

f) Aumento de enfermedades y propagación de hongos debido al mojado total de las plantas.

RIEGO POR SUPERFICIE

Los canales de riego tienen la función de conducir el agua desde la captación hasta el

campo o huerta donde será aplicado a los cultivos. Son obras de ingeniería importantes, que deben ser cuidadosamente pensadas para no provocar daños al ambiente y para que se gaste la menor cantidad de agua posible. Están estrechamente vinculados a las características del terreno, generalmente siguen aproximadamente las curvas de nivel de este, descendiendo suavemente hacia cotas más bajas (dándole una pendiente descendente, para que el agua fluya más rápidamente y se gaste menos líquido).

La construcción del conjunto de los canales de riego es una de las partes más significativas en el costo de la inversión inicial del sistema de riego, por lo tanto su adecuado mantenimiento es una necesidad imperiosa.

Las dimensiones de los canales de riego son muy variadas, y van desde grandes canales para transportar varias decenas de m^3/s , los llamados canales principales, hasta pequeños canales con capacidad para unos pocos l/s , son los llamados canales de campo.

PARTES DE UN CANAL DE RIEGO

A lo largo de un canal de riego se sitúan muchas y variadas estructuras, llamadas “obras de arte”, estas son, entre otras:

- Obras de derivación, que como su nombre lo indica, se usan para derivar el agua (utilizando partidores), desde un canal principal (ej. Una acequia) a uno secundario (ej. Un brazal), o de este último hacia un canal terciario, o desde el terciario hacia el canal de campo y el cañón de boquera. Generalmente se construyen en hormigón, o en mampostería de piedra, y están equipadas con compuertas, algunas simples, manuales.
- Controles de nivel, muchas veces asociadas a las obras de derivación, son destinadas a mantener siempre, en el canal, el nivel de agua dentro de un cierto rango y, especialmente en los puntos terminales, con una inclinación descendente.
- Controles de seguridad, estos deben funcionar en forma automática, para evitar daños en el sistema, si por cualquier motivo hubiera una falla de operación. Existen básicamente dos tipos de controles de seguridad: los vertederos, y los sifones.
- Secciones de aforo, destinadas a medir la cantidad de agua que entra en un determinado canal, en base al cual el usuario del agua pagará, por el servicio. Existen diversos tipos de secciones de aforo, algunas muy sencillas, constan de una regla graduada que es leída por el operador a intervalos pre establecidos, hasta sistemas complejos, asociados con compuertas autorregulables, que registran el caudal en forma continua y lo transmiten a la central de operación computarizada.
- Obras de cruce del canal de riego con otras infraestructuras existentes en el terreno, pertenecientes o no al sistema de riego. Estas a su vez pueden ser de:
 - 1) Cruce de canal de riego con un canal de drenaje del mismo sistema de riego
 - 2) Cruce de un dren natural, con el canal de riego, a una cota mayor que este último

- 3) Cruce de canal de riego con una hondonada, o valle
- 4) Cruce de canal de riego con una vía.

Los altos rendimientos son posibles con riego superficial, pero es mucho más fácil obtener estos rendimientos potenciales con el método de almacenamiento usando el borde. Los rendimientos en el diseño para los sistemas de almacenamiento deben ser altos, tal vez de 80-90% para todos excepto los suelos con una capacidad de infiltración muy alta. Los rendimientos razonables para el riego con borde son del 70 al 85%, y del 65 al 75% para el riego por surco. Debe buscarse una aplicación útil al agua de drenaje y de escorrentía.

C *Ejercitación*

TRABAJO EN EQUIPO

- 1) Organizados en equipos de trabajo conformados por no más de cuatro compañeros, resolvamos lo siguiente.
 - a) Comparemos los distintos tipos de riegos estudiados.
 - b) Discutamos en el grupo, sobre cual de los sistemas sería más conveniente utilizar, teniendo como referencia las características comunes de nuestra comunidad.
 - c) Elaboremos informe sobre nuestro trabajo.
- 2) Compartamos los resultados con nuestros compañeros de sección y pidámosles sus comentarios y aportes.

D *Aplicación*

TRABAJO EN EQUIPO

Coordinemos y realicemos visita a una parcela cercana, en la cual su propietario esté utilizando riego o esté dispuesto a utilizarlo. Ya en la parcela y con la autorización de su propietario procedamos a lo siguiente:

- a) Tomemos con ayuda de GPS o mapa cartográfico las coordenadas del sitio de estudio.
- b) Extraigamos muestras de suelo a profundidad equivalente a la profundidad que estarán

las raíces del cultivo establecido o que se vaya a establecer, esto servirá para cálculo de CC, PMP, textura, densidad aparente y velocidad de infiltración (a partir de textura encontrada), entre otros.

- c) Aforemos las fuentes de agua disponibles por el productor
- d) Calculemos la pendiente que tiene la parcela a regar
- e) Indaguemos sobre datos de precipitación, temperatura y velocidad de viento (si existen más datos mucho mejor)
- f) Indaguemos sobre distanciamiento de siembra más utilizado en la zona para el cultivo establecido o a establecer.

EN PLENARIA:

El relator del grupo o a quien haya seleccionado el grupo se encargará de exponer las conclusiones de nuestro equipo de trabajo con respecto a la asignación.

Los integrantes del equipo de trabajo responderemos a inquietudes del plenario.

Los miembros de los grupos de trabajo debemos incorporar al informe los aportes obtenidos de otras exposiciones o señalamientos hechos por el plenario.

Con ayuda del docente se aclararan dudas que hayan surgido luego de la exposición.

E *Complementación*

TRABAJO INDIVIDUAL

- 1) Con ayuda de Internet o material bibliográfico de la biblioteca. Preparemos:
 - a) Inventario de riego en la circunscripción en que nos desempeñemos
 - b) Determinemos características principales de cada sistema de riego
 - c) Beneficios que hayan logrado los productores por el uso de los sistemas de riego

Podremos consultar a las autoridades locales, a funcionarios del Ministerio de Agricultura, del Instituto de Tecnología Agropecuaria (o su homólogo), a técnicos de organizaciones no Gubernamentales que trabajan en las comunidades y/o a cualquier otro actor local.

BIBLIOGRAFÍA

- BONILLA, J. (2004). Memoria II Bolsa Regional de oferta y demanda de tecnologías del agua. Managua.
- CAJINA, M.J. (2006). Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua.
- Centro de Investigaciones Multidisciplinaria en Desarrollo Rural (2011). Propuesta para Acción Colectiva en el Manejo de Recursos Naturales. Matagalpa-Nicaragua.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México. Edición 2007. ISBN: 978-968-817-880-5
- CHAVARRÍA, F. (2007). Manual Práctico de Riego y Drenaje. Matagalpa
- CHAVARRÍA, F. (2009). Diseño de Relleno Sanitario para el municipio de San Ramón. Departamento de Matagalpa.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima Edición, 2006
- GOYAL, M. R., RAMÍREZ, V.H (2007). Manejo del Riego por Goteo. Universidad de Puerto Rico y Universidad de Santa Rosa de Cabal. 2da Edición.
- INETER (2004). Información sobre normas históricas de precipitación.
- MIFIC (1995). Norma técnica para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua. Nicaragua.
- UCA José Simeón Cañas - AISF (2002). Tecnologías para el abastecimiento y saneamiento de agua en proyectos de cooperación al desarrollo en zonas rurales. Módulo I. abastecimiento. San Salvador - El Salvador.



α LFA



EUROPEAID
CO-OPERATION OFFICE



Università degli Studi
Guglielmo Marconi
TELEMÁTICA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE HIDALGO



Universidad Nacional
Autónoma de Nicaragua



Universidad de Valladolid