

X. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Las propiedades físicas del suelo, junto con las químicas, biológicas y mineralógicas, determinan, entre otras, la productividad de los suelos. Su conocimiento permite un mejor desarrollo de las prácticas de labranza, fertilización, riego y drenaje.

La raíz es el órgano fundamental en la nutrición de las plantas y de su sano crecimiento depende la evolución de la parte aérea.

Profundidad, textura, estructura, porosidad, constantes de humedad, permeabilidad y penetrabilidad son parámetros físicos que permiten evaluar las condiciones de aireación y drenaje estrechamente ligadas con la capacidad de la planta para la toma de agua, oxígeno y nutrimentos.

10.1. Profundidad.

La profundidad del suelo es muy importante porque de ella depende el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas. Un suelo de textura y estructura uniforme de 0.60 m de profundidad puede almacenar doble cantidad de

agua que un suelo de 0.30 m de profundidad y también tendrá un volumen doble para las raíces de las plantas.

Con frecuencia, a mayor profundidad mayor densidad aparente y menor porosidad de tamaño medio y grande. La raíz de la planta profundizará hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar adecuadamente.

En sistemas de riego presurizado, goteo/microaspersión, la profundidad del suelo pasa a segundo término.

En los levantamientos de suelos-vegetación, la clasificación de la profundidad del suelo hasta la roca o estrato cementado es la siguiente:

| Clase | Profundidad (cm) | Descripción |
|--------------|-------------------------|----------------------|
| 1 | 0 – 30 | Muy poco profundo |
| 2 | 30 – 60 | Somero |
| 3 | 60 – 90 | Profundidad moderada |
| 4 | 90 – 120 | Profundo |
| 5 | > 120 | Muy profundo |

La profundidad del manto freático también afecta la profundidad efectiva del suelo para el crecimiento radical.

10.2. Textura.

Los suelos son una mezcla de partículas minerales y orgánicas de diferentes formas y tamaños, su distribución por tamaño, considerándolos esféricas, se denomina textura y se realiza su fraccionamiento mediante el análisis mecánico de Bouyoucos o de Robinson.

Las partículas del suelo se conocen como arcilla, limo y arena y cada una se subdivide en fina, media y gruesa. Su fraccionamiento sigue una escala logarítmica con límites entre 0.002 y 2 mm con un valor intermedio de 0.063 mm. La arcilla es menor de 0.002 mm, el limo entre 0.002 y 0.063 mm y la arena entre 0.063 y 2 mm.

Grava de 2 a 20 mm y piedra mayor de 20 mm.

Los valores de los porcentajes de cada fracción se intersectan en un triángulo y se obtiene de él, el nombre para determinado tipo de suelo.

La textura influye como factor de fertilidad y en la habilidad del suelo para lograr altos rendimientos en los cultivos agrícolas.

Como criterio para estimar el potencial productivo de un suelo se toma en cuenta el porcentaje de partículas menores de 10 micrómetros (limo fino + arcilla) y se considera óptimo 40%, en reducido porcentaje se disminuye la capacidad de campo, mientras que en alto se deteriora la capacidad de aireación del suelo.

10.2.1. Clasificación textural del suelo.

| | | |
|-----------|---------------|-----------------------|
| Arcilloso | > 40% arcilla | poros pequeños |
| Limoso | > 45% limo | porosidad equilibrada |
| Arenoso | > 50% arena | poros grandes |

10.2.2. Determinación práctica al tacto

Arcilloso.- Se adhiere bastante, es fácilmente moldeable, las partículas no son visibles y la superficie brilla levemente.

Limoso.- Se adhiere a los dedos, se moldea con dificultad. los dedos dan apariencia grasosa y las partículas son brillantes.

Arenoso.- No se pega en los dedos, no se moldea como una masa y sus partículas individuales son visibles.

10.2.3. Interpretación de la textura.

Los suelos arenosos son menos fértiles que los limosos y estos a su vez menos que las arcillosos, en términos del contenido de nutrimentos. Sin embargo, su contenido de humedad aprovechable es mayor en los suelos limosos o de migajón que en los muy arenosos o muy arcillosos, porque sus constantes de humedad (PMP y CC) son más distantes.

En los suelos del noroeste hay una estrecha correlación entre el porcentaje de arcilla, el porcentaje de saturación y la conductividad hidráulica, sobretodo en el subsuelo. Esta trilogía de propiedades ayudan a decidir sobre el manejo de la

fertilización nitrogenada según se prevean pérdidas por lavado, denitrificación o volatilización amoniacal.

Por ejemplo, si la textura es arena migajosa con $< 30\%$ de saturación y conductividad hidráulica > 6 cm/hr es más conveniente el uso de sulfato de amonio $>$ Urea $>>$ nitrato de amonio y su aplicación deberá fraccionarse tanto como las condiciones del cultivo lo permitan.

Por otro lado, si la textura es fina papa y jícama puede deformarse, el chile sufrir de enfermedades radiculares y el algodón prospera mejor que en suelos de textura gruesa. Sin embargo, con la fertirrigación estos aspectos ya son menos relevantes.

10.3. Estructura.

Se entiende como la disposición o arreglo de las partículas fundamentales del suelo (arena, limo y arcilla). Se conocen diferentes tipos y subtipos de estructura: granular, laminar, subangular y prismática.

La estructura del suelo no se debe confundir con la textura.

La estructura de un suelo depende del contenido de materia orgánica, contenido de calcio, de sodio, de arcilla, particularmente el contenido de arcilla coloidal o arcilla fina y por supuesto de las condiciones de humedad.

La estructura granular es muy favorecida con altos niveles de materia orgánica, y mantiene buenas condiciones de aireación y drenaje. La laminar obstaculiza la penetración de las raíces y fomenta la erosión. Las prismáticas y angulares

denotan ciclos constantes de contracción y expansión por desecación y humedecimiento respectivamente. Los columnares son típicas de suelos sódicos.

Wooding en 1967, señala que el crecimiento de las plantas afecta la estructura del suelo. Los pastos la estabilizan, la alfalfa es la mejor formadora de estructura, y el maíz ejerce un efecto nocivo sobre la estructura. Algodón deja mejor estructura que soya o maíz para trigo.

La estructura del suelo no afecta directamente a las plantas, sino a través de uno o más de los cuatro factores siguientes y sus interacciones: aireación, compactación, relaciones de agua y temperatura.

Un objetivo del buen manejo de la estructura del suelo es la producción de buenos cultivos con rendimientos adecuados. Esto se logra si se incrementan las buenas condiciones de porosidad, agregación, permeabilidad al aire, aire y raíces profundas, lo que se traducirá en máximos rendimientos bajo las condiciones dadas de clima y fertilidad.

10.4. Porosidad.

El volumen del suelo está constituido en general por 50% materiales sólidos (45% mineral y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso, el cual en condiciones de capacidad de campo se compone de 25% aire y 25% agua.

La porosidad está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferente tamaño, que actúan de la manera siguiente:

Poros grandes.- Diámetro de 0.01-0.05 mm. Es la línea de ventilación y conducción para las raíces de las plantas. Abastecen de oxígeno y evacuan CO₂. A través de ellos se percola el agua gravitacional. Se favorece aireación e infiltración.

Poros medios.- Diámetro de 0.0002-0.010 mm. Su función es almacenar agua y transportarla por capilaridad (formación de menisco). Después de secarse el suelo estos poros son accesibles al aire.

Poros pequeños.- Diámetro < 0.0002 mm. Se almacena agua que no está realmente disponible para las raíces de las plantas.

La proporción de los tamaños de los poros está determinado por el tipo de suelo y por el grado de compactación de la estructura.

Un suelo ideal debe tener 50% de porosidad, con 1/3 de poros grandes y 2/3 de poros medianos.

La porosidad mínima que un suelo debe tener para permitir un buen desarrollo de la planta es de 35% en suelos ligeros y 45% en suelos pesados.

La porosidad del suelo deriva de la relación entre la densidad real y la densidad aparente, se expresa en % y se calcula:

$$EP = [100 (Dr - Da)] / Dr$$

Donde: E.P. = Porosidad o Espacio Poroso, %
 Dr = Densidad Real, g/cc
 Da = Densidad aparente, g/cc

La densidad real se refiere al peso de las partículas sólidas y convencionalmente se acepta 2.65 g/cm^3 .

La densidad aparente se refiere al peso volumétrico ó peso por unidad de volumen que comprende partículas sólidas y espacio poroso en suelo seco.

La información generada en los suelos de México mediante la aplicación del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) permite clasificar a los suelos según su densidad aparente (g/cm^3) agrupándolos por textura, y por separado los andosoles.

| DESCRIPCIÓN | ANDOSILES | TEXTURA | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | FINA | MEDIA | GRUESA |
| Muy Baja | < 0.25 | < 0.80 | < 1.00 | < 1.20 |
| Baja | 0.25 – 0.35 | 0.80 – 0.90 | 1.0 – 1.10 | 1.20 – 1.30 |
| Medianamente baja | 0.36 – 0.50 | 0.91 – 1.10 | 1.11 – 1.20 | 1.31 – 1.40 |
| Media | 0.51 – 0.60 | 1.11 – 1.20 | 1.21 – 1.30 | 1.41 – 1.50 |
| Medianamente alta | 0.61 – 0.70 | 1.21 – 1.30 | 1.31 – 1.40 | 1.51 – 1.60 |
| Alta | 0.71 – 0.80 | 1.31 – 1.40 | 1.41 – 1.50 | 1.61 – 1.70 |
| Muy alta | > 0.80 | > 1.40 | > 1.50 | >1.70 |

La densidad aparente es un valor, que se solicita con frecuencia al laboratorio para el cálculo de la humedad del suelo y lamina de riego así como para

transformar los valores de ppm en Kg/ha para una profundidad de suelo establecida.

Clasificación del espacio poroso

| DESCRIPCION | % | DESCRIPCION | % |
|-----------------------|---------|---------------------|---------|
| Muy reducido | < 25 | | |
| Reducido | 25 – 35 | Medianamente amplio | 51 – 55 |
| Medianamente reducido | 36 – 45 | Amplio | 56 – 60 |
| Medio | 46 – 50 | Muy amplio | > 60 |

La importancia relativa de los poros depende del tipo de cultivo, condiciones climáticas, posición del nivel freático y posibilidades de riego. Donde el agua puede obtenerse por lluvia o riego, los poros de almacenamiento no son tan importantes, pero si son muy necesarios los de aireación. En zonas de temporal de poca precipitación, los poros de almacenamiento son vitales y también es necesario tener suficientes poros grandes para asegurar una adecuada capacidad de infiltración.

La mejor porosidad para el crecimiento de las plantas es, entonces, la que permite una capacidad de infiltración grande y de percolación media, lo suficiente equilibrada para dar a las raíces soporte adecuado pero sin ser tan reducida que impida su desarrollo.

10.5. Constantes de Humedad.

10.5.1. Punto de saturación (PS).

Es la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener contra la fuerza de gravedad, y es afectado por el contenido y tipo de arcillas y por el contenido de materia orgánica.

A partir de este dato se puede estimar indirectamente la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente.

El punto de saturación se expresa en % y se obtiene en el laboratorio al preparar la pasta saturada. Las arenas gruesas tienen un PS de menos de 10% y los suelos muy arcillosos o histosoles (suelos orgánicos) hasta de 150%

10.5.2. Capacidad de Campo (CC)

Es la cantidad de agua que puede retener en el suelo contra la fuerza de gravedad, después de un riego o lluvia que ha humedecido todo el suelo. Al igual que el PS está directamente relacionado al contenido y tipo de arcillas y al nivel de materia orgánica.

$$CC = (PS / 1.84) - 0.48$$

Los suelos arenosos presentan CC de 5-16%; los migajones de 15-30%; los migajones arcillosos de 25-35% y los arcillosos de 30-70%, dependiendo del contenido y tipo de arcilla.

10.5.3. Punto de marchitamiento permanente (PMP)

Es el porcentaje de humedad de un suelo en el cual las plantas se marchitan y ya no pueden recuperarse, aún cuando se les coloque en una atmósfera saturada de humedad.

El PMP también se puede estimar a partir de la CC, y también se expresa en porciento en base peso (Castellanos, Uvalle y Aguilar, 2000).

$$\text{PMP} = \text{CC} \times 0.595$$

Los coeficientes expresan la proporcionalidad de la tensión de humedad en centímetros de columna de agua (donde 1m de agua = 1 atm), pueden variar con el contenido de materia orgánica y el tipo de arcilla (1:1 ó 2:1).

Las constantes de humedad CC y PMP sirven de base para el cálculo de las láminas y frecuencias de riego cuando se relacionan con la densidad aparente del suelo.

$$L = (\text{Hcc} - \text{Hpm}) \times \text{Da} \times \text{h}$$

Donde:

| | | |
|-----|---|--|
| L | = | Lámina de riego en cm |
| Hcc | = | Contenido de humedad a capacidad de campo en % |
| Hpm | = | Contenido de humedad al punto de marchitamiento en % |
| Da | = | Densidad aparente en g/cm ³ |
| H | = | Profundidad del suelo en cm, que se desea humedecer. |

10.5.4. Humedad aprovechable (HA).

La diferencia entre CC y PMP representa la capacidad de retención de humedad aprovechable. Esta capacidad varía en función del tipo de arcilla, nivel de materia orgánica y de la estructura del suelo.

Enseguida se describe la capacidad de retención de humedad aprovechable en suelos de diferentes texturas:

| TEXTURA | HUMEDAD APROVECHABLE Cm agua/30 cm prof. Suelo |
|---|---|
| Arena muy gruesa | 1.0 – 2.0 |
| Arena y migajón arenoso | 2.0 – 4.0 |
| Migajón y migajón limoso | 4.0 – 5.5 |
| Migajón arcilloso, Migajón arcillo limoso y migajón arcilloarenoso | 4.5 – 6.2 |
| Arcilla arenosa, arcilla limosa y arcilla | 4.0 – 6.2 |

10.6. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica (C.H.) del suelo es una propiedad física que describe su capacidad para transmitir agua e indirectamente oxígeno en el suelo.

Esta es una de las principales propiedades físicas del suelo determinadas en muestras alteradas, pues es una medición indirecta de la estabilidad estructural del mismo ó de su grado de compactación.

El procedimiento para medir C.H. en un suelo se realiza a través de la selección de agregados de 0.5 a 2 cm de diámetro, lo cual se consigue mediante tamizado

por las mallas correspondientes, eliminando los agregados menores de 0.5 mm y los mayores de 2 mm. Esta muestra de agregados se deposita en permeámetros de 3.8 cm de diámetro y 18 cm de largo con una columna de suelo de 10 cm y agregando agua a una carga constante.

La fórmula para calcular Conductividad Hidráulica (permeabilidad) es:

$$C.H. = \frac{Q L}{T A H}$$

Donde:

C.H. = Conductividad hidráulica en cm/hr

Q = Volumen en cm^3 de percolado colectado en un periodo de tiempo T

T = Tiempo de percolación, (generalmente una hora, en tal caso T=1)

L = Longitud del suelo en la columna o permeámetro en cm

A = Area de la columna del suelo en cm^2

H = Carga hidráulica o longitud de la columna de agua desde la superficie de agua por encima del suelo hasta la base del mismo, en cm.

Actualmente muy pocos laboratorios de servicios reportan esta importante característica del suelo.

Una baja C.H. puede ser provocada por un bajo contenido de materia orgánica, combinada con un alto contenido de sodio, particularmente en suelos de textura fina. Los suelos con mas de 5% de sodio intercambiable (PSI) normalmente reportan baja C.H.. Estos suelos no van a mejorar su productividad sólo con la adición de fertilizantes, sino que requieren la aplicación de un mejorador como fuente de calcio y/o de abonos orgánicos. La más barata fuente de calcio como mejorador de suelo es el yeso agrícola y generalmente se aplica en dosis de 1 a

10 ton/ha. La aplicación de abonos orgánicos normalmente se realiza en dosis de 10 a 20 ton/ha.

Agrolab, en 1999 citado por Castellanos, Uvalle y Aguilar, 2000, indica la relación existente entre el PSI y la conductividad hidráulica en suelos del Bajío, en Guanajuato, México. En suelos con bajo sodio la C.H. varía ampliamente por la diversa estabilidad estructural de los suelos, pero cuando el PSI es mayor de 5%, la C.H. media desciende significativamente, llegando a niveles muy bajos a 10 PSI. A niveles mayores de 10 PSI la C.H. es baja en todos los suelos, señalando la influencia negativa del sodio sobre esta importante propiedad del suelo.

Enseguida se presenta el intervalo de conductividad hidráulica en suelos del noroeste de México y en suelos del Bajío, expresada en cm/hr.

Región Noroeste (Uvalle-Bueno, 1996)

| Muy baja | Med. Baja | Baja | Media | Mod. Alta | Alta | Muy Alta |
|-----------------|------------------|-------------|--------------|------------------|---------------|-----------------|
| < 0.04 | 0.04 – 0.42 | 0.43 – 1.67 | 1.68 – 4.20 | 4.21 – 12.60 | 12.61 – 25.20 | > 25.20 |

Región Bajío (Castellanos, 2000)

| Muy baja | Med. Baja | Baja | Media | Mod. Alta | Alta | Muy Alta |
|-----------------|------------------|-------------|--------------|------------------|-------------|-----------------|
| < 1.0 | 1.0 – 2.0 | 2.1 – 3.0 | 3.1 – 5.0 | 5.1 – 10.0 | 10.1 – 20.0 | >20.0 |

10.7. Aire del suelo

Es el aire que ocupan los poros libres de agua en la zona de la rizósfera y sufre cambios estacionarios y anuales en cantidad y composición. El aire del suelo es factor ecológico, pedogenético y de crecimiento vegetal.

La toma de O_2 del aire del suelo es la condición para la toma de agua y nutrimentos.

10.7.1. Respiración del suelo.

La presión parcial del O_2 del aire en el suelo es mayor que el de la rizósfera, y con la del CO_2 sucede lo contrario, de ahí que por difusión se da el intercambio de gases.

Los factores meteorológicos influyen en el intercambio de gases, (temperatura, presión atmosférica, vientos y precipitación).

El CO_2 de la rizósfera proviene en 1/3 de la respiración de las raíces y 2/3 de la respiración de los microorganismos.

La producción del CO_2 es afectada por el tipo de suelo, cultivo, labranza, fertilización, así como temperatura, humedad, aireación y pH del suelo.

Composición del Aire (%)

| | O_2 | CO_2 | N_2 |
|------------|-------|--------|-------|
| Atmósfera | 20.95 | 0.03 | 79.0 |
| Rhizósfera | 20.60 | > 0.20 | 79.0 |

En suelos compactados puede haber más del 10% de CO₂ en la rizósfera. Sin embargo, contenidos mayores de 5% de CO₂ y/o < 10% O₂ afectan el crecimiento de los cultivos agrícolas.

El exceso de CO₂ procura mayor solución de CaCO₃, generando elevación en la concentración de bicarbonatos en la solución del suelo y esto a su vez provoca desórdenes nutricionales o fisiológicos en las plantas.

10.7.2. Capacidad de aireación.

Se entiende como la fracción del espacio poroso ocupada por aire en el suelo.

La profundidad del suelo influye en la capacidad de aireación, es decir que a mayor profundidad menor es la capacidad de aireación.

Cuando la capacidad de aireación es reducida se presenta la deficiencia de aire (O₂) y las plantas muestran síntomas de falta de agua.

La capacidad de aireación esta estrechamente ligada con la compactación del suelo y su deficiencia provoca escaso desarrollo radical, mal crecimiento de la parte aérea, síntomas de marchitamiento aún con suelo húmedo, y muerte de la planta.

Capacidad de aireación (%) = Espacio poroso (%) - Volumen de agua (%)

Volumen de agua (%) = Humedad del suelo (%) x Densidad aparente.

10.7.3. Capacidad de drenaje.

Es la capacidad de movimiento del agua en un suelo a capacidad de campo, por lo que se mide en dichas condiciones y es función de la textura, estructura, etc. El drenaje y la descompactación incrementan la capacidad de aireación del suelo.

Cuando la relación capacidad de aireación/capacidad de drenaje es menor de < 0.5 de lugar a desórdenes nutrimentales y si es >2.0 a desórdenes fisiológicos preferentemente.

Capacidad de drenaje (%) = Espacio poroso(%) - Volumen de agua a CC(%)

Volumen de agua a CC(%) = Humedad del suelo a CC(%) x densidad aparente

10.8. Agua del suelo.

Es el agua que puede ser retirada del suelo por secado a la estufa a 105°C durante 2 horas.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo seco} \times 100}{\text{peso del suelo húmedo}}$$

El agua del suelo se clasifica en superficial, de retención (adsorción y capilar), y de percolación.