

APUNTE DE EDAFOLOGÍA

CURSO EDAFOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIA Y FORESTALES

U.N.L.P.

TEMA 6: “ESTRUCTURA Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO”

AÑO 2019

Contenidos

- Objetivos del tema
- Introducción
- Tipos de estructura del suelo
- Capacidad de estructuración de los suelos
- Factores que afectan la formación de agregados
- Fisuración y reducción de la estructura
- Degradación de la estructura
- Estructuras limitantes para el crecimiento de las plantas
- Estabilidad de la estructura – estabilidad de agregados
- Técnicas para evaluar la estabilidad estructural
- Actividades
- Cuestionario guía
- Bibliografía

Objetivos del tema

- a) Comprender como se genera la estructura.
- b) Reconocer la importancia agronómica de la estructura en los sistemas de producción agropecuarias.
- c) Comprender que es la estabilidad estructural y cuáles son sus técnicas de evaluación.

Introducción

Se define a la **estructura** del suelo como el “**ordenamiento de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) en agregados, que se separan de los agregados vecinos por superficies naturales de fragilidad o disyunción (superficie de ruptura)**”. Un agregado es un grupo de dos o más partículas primarias cuya coherencia una con otra es más fuerte que con las partículas que las rodean. La desintegración de la masa de suelo en agregados implica la imposición de alguna fuerza de ruptura. Las unidades de masa de suelo que conservan su identidad como agregados tienen una fuerza cohesiva que es mayor que la fuerza de ruptura a la que son sometidos.

En el trabajo práctico de morfología del perfil, se ha indicado la estructura de cada horizonte. A partir del estudio de estas unidades en el campo, ha descrito la estructura de cada capa en función del tipo o forma, clase o tamaño y grado de estructuración del suelo (ver TP morfología del perfil).

Cada horizonte morfológico está asociado a un tipo de estructura. Así en un horizonte Ap es deseable desde el punto de vista agronómico, que la estructura sea fina y porosa, de manera de tener un buen contacto del suelo con la semilla, una moderada permeabilidad y un adecuado nivel de humedad. Muchas veces, la estructura natural se ve modificada por la acción del hombre, que al realizar inadecuadas prácticas de manejo, desmejora la estructura inicial. Un ejemplo de esto sería encontrar un horizonte Ap con estructuras en bloques, cuando inicialmente la misma era migajosa.

El ordenamiento espacial de las partículas elementales en agregados y la distribución de los poros del suelo resultantes de él, es lo que interesa desde el punto de vista agronómico, ya que a través de los poros, las raíces de las plantas exploran el suelo para proveerse de nutrientes, aire y agua. Además, **el sistema poroso resultante del grado de estructuración, juega un papel fundamental en la fertilidad física del suelo.**

La estructura afecta el crecimiento de las plantas, debido a la influencia sobre el agua y el aire del suelo; suelos bien estructurados permiten una adecuada infiltración y capacidad de almacenaje de agua en el perfil. También permite una rápida difusión de los gases del suelo (CO₂ y O₂) que intervienen en la actividad biológica. Otro aspecto que puede modificar es el crecimiento radical, pues puede limitar la superficie de exploración de las raíces al presentarse estructuras cohesivas desfavorables como, prismáticas o columnares o ausencia de estructura (masiva).

La estructura y sus factores asociados presentan cambios a lo largo del tiempo; hay cambios estacionales, marcados por la diferente actividad biológica en época estival o invernal. También producen variaciones los sistemas de labranza, crecimiento de las plantas, lluvias, irrigación u otras prácticas de manejo.

La estructura del suelo tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas; en consecuencia, en determinados casos puede ser el factor limitante para la producción. Una adecuada estructura hace que se optimicen los factores de crecimiento y se aumente el rendimiento de los cultivos.

Tipos de estructura del suelo

En el práctico de morfología de suelos se ha explicado cómo se describe la estructura presente en un horizonte a través del tipo, clase y grado de estructuración

En forma general se reconocen 2 grandes categorías:

- Suelos sin estructura: Grano simple

Suelos masivos

- Suelos con estructura

Como ejemplo de suelo sin estructura, tenemos a las dunas y los médanos. El nivel masivo corresponde a suelos que rompen en unidades cohesivas y grandes, siguiendo el sentido del esfuerzo del corte.

Las partículas de origen orgánico y mineral que constituyen el suelo no se encuentran aisladas unas de otras, sino que forman agregados estructurales, también llamados peds. Blackmore y Miller (1961) ya observaron cómo la montmorillonita cálcica puede disponerse en grupos de cuatro o cinco partículas, en función de diversas características del suelo. A cada uno de estos grupos lo llamaron "tactoide".

Estos agregados o peds se describen estáticamente de acuerdo a pautas morfológicas establecidas, como las utilizadas en el TP de morfología. Ahora corresponde estudiar la estructura de los suelos en forma dinámica, adaptativa a los agentes perturbadores de la naturaleza y culturales.

En suelos con apreciable contenido de arcilla, las partículas primarias tienden a agruparse en unidades estructurales conocidas como partículas secundarias o agregados. Tales agregados se caracterizan por no presentar un tamaño fijo ni universal, y no son necesariamente estables. Cuando los agregados son visibles, alcanzan varios milímetros o varios centímetros de

diámetro. Como requisito para que se forme agregados, es necesario que la arcilla se encuentre floculada, siendo un requisito necesario pero no suficiente para la agregación (agregación es floculación más cementación).

Capacidad de estructuración de los suelos

Se denomina estructuración a la capacidad espontánea de formar agregados, y que estos agregados se dividan en otros más pequeños sin la intervención del hombre. A nivel de partículas elementales, en la formación de agregados actúan fuerzas físicas (tensión superficial), fuerzas físico-químicas (Van der Waals), fuerzas químicas (sustancias que actúan como cementantes de las partículas individuales). En una etapa siguiente de organización actúan las sustancias húmicas (huminas, ácidos húmicos y fúlvicos); finalmente a nivel de macroagregados encontramos como cementos estructurantes a las hifas de los hongos, gomas microbianas y raíces.

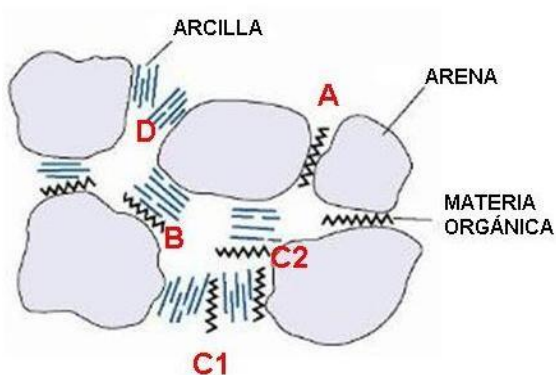
Los suelos poseen capacidad estructurante, de agregación y fisuración natural, por lo que los agregados pueden dar otros más grandes o más pequeños. En el proceso de estructuración pueden intervenir distintos **agentes cementantes**. Los factores que pueden intervenir son:

- **Materia Orgánica:** Posee acción estabilizadora por su naturaleza coloidal en la formación de agregados. Se destacan las sustancias húmicas y otros polisacáridos, proteínas, lípidos, etc. Es muy frecuente la disminución de la agregación en suelos donde se reduce el contenido de materia orgánica. Su efecto es mayor a medida que decrece el contenido de arcilla. Forma complejos con el Ca^{++} , de alta estabilidad; también forma quelatos con los metales (Fe) que son muy estables.
- **Arcilla:** Junto con la materia orgánica forma complejos húmicos – arcillosos que son los principales responsables de la formación de agregados. En este sentido, Emerson (1959) ha destacado la importancia en la orientación de las partículas en la interacción entre arcillas o entre arcillas y materia orgánica (orientación cara-borde, cara-cara, borde-cara, ver figura 1). Cuanto más arcilla tenga el suelo, mayor será la proporción de agregados, ya que une a las partículas de mayor tamaño; capas finas de arcillas recubren las arenas y limos y las mantienen unidas. Es de destacar que la capacidad estructurante de las arcillas guarda una directa relación con su gran superficie específica.
- **Coloides de Fe y Al:** Se destacan en suelos con un bajo contenido de materia orgánica. Ej: suelos lateríticos de Misiones.
- **Cationes de cambio:** Su efecto se debe a que ciertos cationes permiten la floculación del material coloidal. La acción floculante se encuentra

relacionada a la valencia del catión, destacándose el Ca^{++} que actúa como enlace entre cargas negativas del coloide, lo que hace que la capa difusa esté contraída. El Ca^{++} y el Mg^{++} inducen la unión de las arcillas además de ser importantes en la nutrición de plantas y microorganismos. Por el contrario, el Na^+ tiende a dispersar las arcillas y a elevar el pH a un nivel que en términos generales, los nutrientes del suelo no se encuentran disponibles.

- **Microorganismos:** Durante períodos de intensa actividad biológica, las células y los microorganismos mantienen unidas en forma mecánica las partículas del suelo. Colaboran en la formación de agregados a través de los compuestos producidos durante la descomposición de la materia orgánica; su actividad es muy efímera.
- **Animales:** A través de productos metabólicos de lombrices, arañas, nematodos, insectos, etc.
- **Plantas y residuos vegetales:** Por la excreción de compuestos a través de las raíces. Otra acción mecánica la ejercen las raíces, al aglutinar partículas de suelo a su alrededor (ej: raíces de gramíneas). Los residuos vegetales proporcionan el sustrato para los microorganismos del suelo.
- **Agua:** Hinchamiento y contracción de los coloides, por humedecimiento y secado del suelo. Esto causa los planos de debilidad por los cuales se separan los agregados. Otro fenómeno es la tensión superficial, que mantiene unidas las partículas. El agua también ejerce su efecto sobre la estructura en regiones donde el suelo permanece congelado durante el invierno.

Existen casos de **cementaciones irreversibles**, como son las que producen el sílice o el carbonato de calcio. Esto no es deseable desde el punto de vista agronómico, ya que en tales casos se limita el crecimiento radical y la acumulación de agua en el perfil del suelo.



Tipos de uniones:

A: arena – materia orgánica – arena

B: arena – materia orgánica – arcilla orientada

C: arcilla orientada – materia orgánica – arcilla orientada

C1: cara – cara

C2: borde – cara

C3: borde – borde

D: arcilla orientada – arcilla orientada – borde – cara

Figura 1: Posible disposición entre materia orgánica, arcilla y granos de cuarzo en un agregado de suelo.

Factores que afectan la formación de agregados

La formación de agregados tiene una estrecha relación con la floculación y el comportamiento de la doble capa difusa y la presencia de vegetación perenne herbácea, en períodos en donde no se produce remoción del suelo, da una acumulación de humus que promueve una mayor estructuración. Así mismo, numerosos trabajos han demostrado que los sistemas de labranza conservacionista presentan mejor estructuración que los sistemas convencionales, asociado a un mayor nivel de materia orgánica.

Observar el estado de agregación del suelo en un momento determinado puede no ser suficiente para reflejar las verdaderas características de la estructura, ya que la misma puede variar a lo largo del tiempo. El grado de agregación es una propiedad dinámica, ya que los agregados se desintegran y reforman periódicamente. Por ejemplo, un lote recién arado puede mostrar por un tiempo una disposición casi óptima de los tamaños de sus agregados, con poros que favorecen una adecuada infiltración y aireación; normalmente dicho estado es efímero. La estructura puede comenzar a deteriorarse rápidamente, a medida que el suelo esté sujeto a fuerzas destructivas; la lluvia puede destruir agregados causando planchado superficial y en algunos casos erosión.

Así también, se puede observar cambios en la agregación de los suelos a lo largo del año, debido a variaciones estacionales entre verano e invierno. El conocimiento de la variación en la estabilidad estructural tiene gran importancia por su relación con la degradación de los suelos; es así que en los períodos de menos estabilidad estructural se debería tener especial cuidado en el laboreo, pisoteo, tránsito y alteración de la cubierta vegetal del suelo (Silenzi et al, 1987).

Fisuración y reducción de la estructura

Los factores que pueden intervenir son:

- La alternancia de hinchamiento y contracción en los ciclos de humectación y desecación, favorecidos por las arcillas del tipo expandibles.
- El crecimiento radical que puede atravesar horizontes masivos en períodos de humedad, produciendo poros y grietas que favorecen la agregación.
- Acción de la fauna y microorganismos del suelo. Los insectos forman túneles y canales, muy útiles en la generación de espacios porosos en suelos masivos. Los microorganismos aglutinan partículas alrededor de sus exudados.
- Efectos de las prácticas de cultivos; los tipos de labranzas que pueden mejorar o desmejorar la estructura. Si las labores se realizan cuando el suelo tiene un estado de humedad superior al friable, el suelo es amasado y se altera la estructura natural. Esto normalmente ocurre en los horizontes Ap, dejando un tamaño de terrón muy grande (cascote), que luego debe ser refinado con excesivas labores (utilización de rastras de disco, rastra de dientes, rolos). En casos de horizontes compactados por pisoteo de animales o peso de la máquina, la estructura generada (normalmente masiva) puede ser mejorada por el pasaje de aperos que rompan dicha estructura; lo que se utiliza normalmente son cinceles, que empleados correctamente (adecuada velocidad de pasaje y nivel de humedad del suelo) rompan esas capas endurecidas, mejorando las condiciones de aireación, almacenaje de agua y actividad biológica del horizonte. Estas condiciones, mantenidas a lo largo del tiempo, favorecen la regeneración de la estructura.

Degradación de la estructura

La misma se puede dar por:

- **Dispersión:** Efecto de algunos cationes, particularmente Na^+ , en la dispersión (peptización) de algunos coloides.
- **Presión del aire confinado:** Provocada por el avance capilar del agua en los canalículos capilares del suelo, generando un efecto de estallido.

- **Impacto de la lluvia:** Importa la cantidad e intensidad de la lluvia caída y si el suelo está o no cubierto de vegetación, ya que ella le sirve de protección.
- **Masificación:** Particularmente importante cuando el suelo es cultivado fuera del grado de humedad adecuado. También se da por sobrecarga de ganado con exceso de humedad. En ambos casos, se destruye la estructura por amasado de la misma. En el otro extremo, cuando un suelo está muy seco, se puede producir la **pulverización** de los agregados.

Estructuras limitantes para el crecimiento de las plantas

Bajo ciertas condiciones existen estructuras que pueden ser limitantes para el crecimiento radical. En este apunte consideramos dos tipos de problemas: **costras superficiales** (planchado) y **capas subsuperficiales compactadas** de origen natural o antrópico (piso de arado, pie de arado, horizontes compactados). Lo que sucede para cada caso es que se presenta una limitación a la normal emergencia de las plántulas (costra superficial) o se limita el desarrollo y crecimiento de las raíces (capas subsuperficiales densificadas). Estos problemas se conocen como **impedancias mecánicas**.

Ahora bien, ¿qué relación hay entre las costras y horizontes compactados con la estructura natural de los suelos? En realidad, ambos problemas surgen por la destrucción de la estructura. Esta destrucción está asociada como principal factor, a factores antrópicos: el hombre hace un inadecuado manejo de los suelos, destruyendo la condición física de los mismos.

La generación de costras superficiales se produce sobre suelos de textura media a finas (franco, franco limoso, franco-arcilloso), con un tamaño de agregados muy pequeños y de muy baja estabilidad estructural. Normalmente esta condición superficial es debida a un excesivo laboreo de los suelos en su preparación como cama de siembra, o en una condición de sobrepastoreo sin vegetación y con la porción superior del horizonte A muy pulverulenta.

Si sobre suelos en estas condiciones cae una precipitación de una cierta intensidad (30 a 50 mm/h), se destruyen los agregados superficiales; las partículas sueltas se unen formando una costra, que es una lámina de unos pocos milímetros de espesor, de escasa porosidad y alta densidad aparente.

¿Cómo limita esta costra el crecimiento de las plantas? Lo hace de varias formas:

- Opone una resistencia mecánica en cultivos no emergidos,

produciendo una reducción respecto al total de semillas sembradas y afectando el parámetro de rendimientos en cantidad de plantas/ha.

- Reducen la infiltración de agua en el suelo. A su vez genera otros problemas:
 - a) En los suelos con pendientes el agua no infiltra, escurre y causa erosión hídrica.
 - b) Si la posición de relieve es baja, se acumula el agua superficialmente, ya que la infiltración es lenta. El agua queda expuesta a ser evaporada, en lugar de ser almacenada.

Tanto en a) como en b) se reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Ello puede repercutir negativamente en el ciclo de crecimiento del cultivo, al limitarse la disponibilidad hídrica.

- Se limita el intercambio gaseoso, afectando tanto al cultivo como a los microorganismos del suelo.

Los horizontes subsuperficiales compactados pueden ser el resultado de un inadecuado manejo por acción del hombre, normalmente estas capas tienen una densidad aparente más elevada que los horizontes superiores e inferiores, denominándose a los mismos panes genéticos o piso de arado.

Suelos con altos contenidos de arcilla o limo (zonas húmedas) o predominio de limo grueso y arcillas finas (región semiárida) son propensos a sufrir compactaciones. La acción del hombre se refleja en el uso de maquinarias, labranzas excesivas con un nivel de humedad no adecuado, equipos cada vez de mayor potencia y peso, pisoteo de ganado, etc.

Las capas compactadas pueden limitar el crecimiento de los cultivos de varias maneras:

- Se reduce el volumen total de poros, dejando el horizonte compactado con menos espacios vacíos donde almacenar agua.
- La reducción se da por la destrucción de los poros de mayor tamaño. Ello dificulta la circulación de agua y aire en el perfil, con el consiguiente perjuicio para las plantas.
- La oportunidad de almacenar agua en el perfil es menor en períodos de altas temperaturas; el agua precipitada se mueve bien en los horizontes superiores, hasta que llega al piso de arado. Dada su baja porosidad total comienza a infiltrar muy lentamente quedando expuesta mayor tiempo a la evaporación.

En definitiva, se reduce la cantidad de agua almacenada.

- Pueden proponer una impedancia mecánica al crecimiento de las raíces. Ello limita la profundidad o superficie de exploración del sistema radicular en el suelo, sobre todo en períodos secos. Al ser más pequeño el volumen de raíces, se limita la capacidad de absorción de agua y nutrientes por el cultivo, disminuyendo el rendimiento del mismo. Muchas veces, este problema no es detectado por coincidir el período de crecimiento de las raíces con épocas de elevada precipitación, que hace que esa capa compactada esté húmeda y pueda ser atravesada por las raíces. La compactación es mas severa en la limitación de los rindes en períodos de sequías y en zonas donde la limitante es el agua disponible (condición semiárida).

Debemos destacar dos tipos de pisos de arados de distintas características: el que se genera en zonas húmedas (ej: norte de Bs As) y el que se genera en zonas semiáridas (ej: Villarino).

En el primer caso es una capa de 2 a 4 cm de espesor, observable a partir de los 16 a 18 cm de profundidad (normalmente es la profundidad del arado de reja y vertedera). Aparece en la parte inferior del Ap extendiéndose en el A2 y a veces sobre la cabeza del Bt. Es una capa de muy alta densidad aparente.

Los pisos de arado de zonas semiáridas se presentan a una profundidad menor, apareciendo a partir de los 8 a 12 cm (que es la profundidad de labor del arado de disco liviano o rastra de disco) y su espesor es mayor, pudiendo alcanzar unos 8 a 20 cm; el mayor espesor es debido normalmente a períodos de sobrepastoreo de varios años. Su densidad aparente es elevada, pero menor al caso anterior.

Tanto las costras como los pisos de arados deben ser superados con un buen manejo de los suelos. En el primer caso, mejorando la estructura superficial con rotaciones, incorporación de materia orgánica, mayor cantidad de rastrojo que le quite energía a las gotas de lluvia, labores que rompan costras formadas, etc.

En el caso de las capas subsuperficiales compactadas se suelen hacer labores con cinceles, labranzas profundas y subsolados.

Estabilidad de la estructura – Estabilidad de los agregados

La estabilidad de la estructura es definida como la resistencia que los agregados del suelo ofrecen a los agentes disgregantes externos (el agua, el viento, el pisoteo, manipulaciones mecánicas).

Para la producción agropecuaria la estabilidad de la estructura es una propiedad fundamental. La estructura y su estabilidad se relacionan con el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que influye indirectamente en propiedades tales como infiltración, compactación, resistencia a la erosión, movimiento de agua y de aire.

Los suelos naturalmente varían en la proporción en que son vulnerables a fuerzas destructivas externas. La estabilidad de los agregados es una medida de esa vulnerabilidad, más específicamente expresa la resistencia de los agregados a la ruptura cuando son sometidos a procesos disturbadores potenciales. Ya que la reacción de un suelo a las fuerzas que actúan sobre él, depende de no solo de dicha fuerza sino también de la forma en que están aplicadas, la estabilidad de los agregados no es mensurable en términos absolutos, más bien es un concepto relativo y hasta subjetivo.

Para probar la estabilidad, los físicos del suelo, someten muestras de agregados a fuerzas inducidas artificialmente para simular fenómenos posibles que se produzcan en el campo. La naturaleza de las fuerzas aplicadas durante la experimentación dependen de la percepción del investigador, de los fenómenos naturales que se desean simular, así como del equipo disponible y el modo de su empleo.

Más frecuentemente el concepto de la estabilidad de los agregados se aplica en relación con las fuerzas destructoras del agua. El solo mojado de los agregados puede causar su colapso, ya que las sustancias cementantes se disuelven o debilitan a medida que aumenta el tiempo de contacto con el agua.

La estabilidad de agregados del suelo, por ser una característica edáfica dinámica, es considerada un indicador sensible de tendencias a la recuperación o degradación de los suelos (Doran & Parkin, 1994) y, se encuentra relacionada con la actividad de los coloides, el contenido orgánico, la actividad microbiana (Pecorari, 1988; Chenu, 1993; Orellana & Pilatti, 1994; Chenu et al ., 2000; Sasal et al ., 2006; Cosentino et al ., 2006), el laboreo del suelo (Gibbs & Reid, 1988), la secuencia y la frecuencia de cultivos en la rotación (Cerana et al ., 2006; Novelli et al ., 2010).

No existe una única manera de medir la estabilidad debido a la gran cantidad de propiedades que influyen en la agregación y desagregación de los suelos. Los numerosos métodos propuestos para caracterizar la estabilidad tratan de reproducir alguno de los mecanismos que producen la degradación de la estructura.

Los métodos de determinación de estabilidad de agregados se dividen en dos grupos: determinación de la estabilidad **en seco** y **en húmedo**.

En el caso de la determinación de estabilidad **en seco**, se pretende

evaluar la resistencia de los agregados a la acción del viento; en la determinación **en húmedo**, lo que se quiere medir es la resistencia de los agregados a la acción del agua. En todo caso, lo que quiere poner de manifiesto los métodos de determinación es un concepto básico: **a mayor estabilidad de la estructura menor es la destrucción de los agregados, lo que indica que esos agregados son más resistentes a las acciones externas** (agua, viento, laboreo, pisoteo animal, etc.)

Técnicas para evaluar la Estabilidad Estructural

En la Argentina se han utilizado diferentes métodos de laboratorio para conocer la estabilidad de agregados de los suelos, además de su variación respecto al uso y manejo. Los más utilizados han sido como De Leenher & De Boodt (1958), Hénin et al. (1958), entre otros. Los resultados que se obtienen no son equivalentes y, si bien están relacionados entre sí, en general tienden a dar mayor importancia a alguno de los mecanismos individuales de desagregación. Así, cada uno pone énfasis en aspectos particulares de la inestabilidad y es por ello que los resultados obtenidos por diferentes métodos son difícilmente comparables. Por ello, el principal problema que se plantea en el estudio de la estabilidad de agregados de los suelos es el método (Benito Rueda & Díaz Fierros, 1989), que continúa estando escasamente homologado y normalizado. Basado en el método clásico de Hénin, e integrando aspectos de otros métodos, Le Bissonnais (1996), propuso utilizar un nuevo método para el análisis de la estabilidad de agregados. La finalidad de este método es describir el comportamiento físico del suelo básicamente cuando es sometido a la acción de la lluvia.

- 1) Método rápido de la mezcla de alcohol – agua (Tallarico)
- 2) Métodos de tamizado en húmedo:
 - a) Técnica de De Boodt y De Leenher
 - b) Técnica de Henin
 - c) Técnica de Le Bissonnais

1) Método rápido de la mezcla de alcohol – agua

Elementos necesarios:

- Piedra de toque o similar
- Pipeta
- Pinza para tomar agregados

Mezcla de alcohol – agua de 90 – 80 – 70 – 60 – 50 – 40 – 30 – 20 – 10 y 0% de alcohol.

Técnica

Se usan agregados secos al aire, de 6 a 8 mm de diámetro, que se colocan de a cuatro en cada cavidad de la piedra de toque. Con pipeta se vierte lentamente las mezclas, hasta cubrir con el líquido los agregados, procurando que el líquido se deslice por las paredes. El tiempo de inmersión de los agregados en el líquido varía con la textura del suelo; se recomienda dos minutos para suelos sueltos, cinco minutos para francos y diez para suelos arcillosos.

El índice de estructura está dado por el % de agua que contiene la mezcla, cuando por lo menos tres de los cuatro agregados resisten la acción del líquido. En otros términos, los agregados son más estables cuanto más elevado es el % de agua necesario para destruir los mismos.

Es fácil observar la destrucción de los agregados, ya sea por la acumulación de partículas individuales de suelo en el fondo de la cavidad, o porque el agregado sufre una ruptura provocada por la explosión que produce el aire al ser comprimido por el líquido que penetra en los poros. El desalojo del aire por la entrada del líquido, será más violento cuanto mayor sea la diferencia de tensión superficial en la interface aire – líquido.

Cuando se desconoce totalmente el grado de estabilidad de los agregados de los suelos en estudio, conviene iniciar las determinaciones con la mezcla que contiene 50 % de alcohol, continuando en uno u otro sentido según lo que observamos en esta primera evaluación.

Escala clasificatoria

Concentración de Agua	Estabilidad Estructural
Menos de 30 %	mala
30 % - 50 %	regular
50 % – 70 %	buena
70 % - 90 %	muy buena
Más de 90 %	excelente

2) Métodos de tamizado en húmedo:

a) Técnica de De Boodt y De Leenher

El aspecto particular de este método es determinar la distribución de los agregados estables en seco y compararla con la distribución de los agregados

que quedan luego de tamizarlos bajo agua. El grado de estabilidad se mide por el cambio que se produce al tamizar una muestra de suelo en seco y en húmedo, y se determina midiendo el área encerrada entre las curvas correspondientes a cada tamizado (en húmedo y en seco, ver fig 2). Estas son curvas de frecuencia acumulativa de peso en relación al diámetro de los agregados (dado por los tamices). Este valor se compara con el área de un suelo de buena estabilidad estructural y se obtiene un índice.

Es importante estandarizar el momento y forma del muestreo para obtener datos comparables. Estos estudios tienen mayor importancia en los horizontes superficiales, pues son estos los más expuestos a los factores que alteran la estructura. Graficando los porcentajes en función del diámetro de tamices se obtiene la curva de distribución de agregados, en seco y en húmedo.

Cuanto mayor es el área entre las dos curvas, menor es la estabilidad estructural de la muestra.

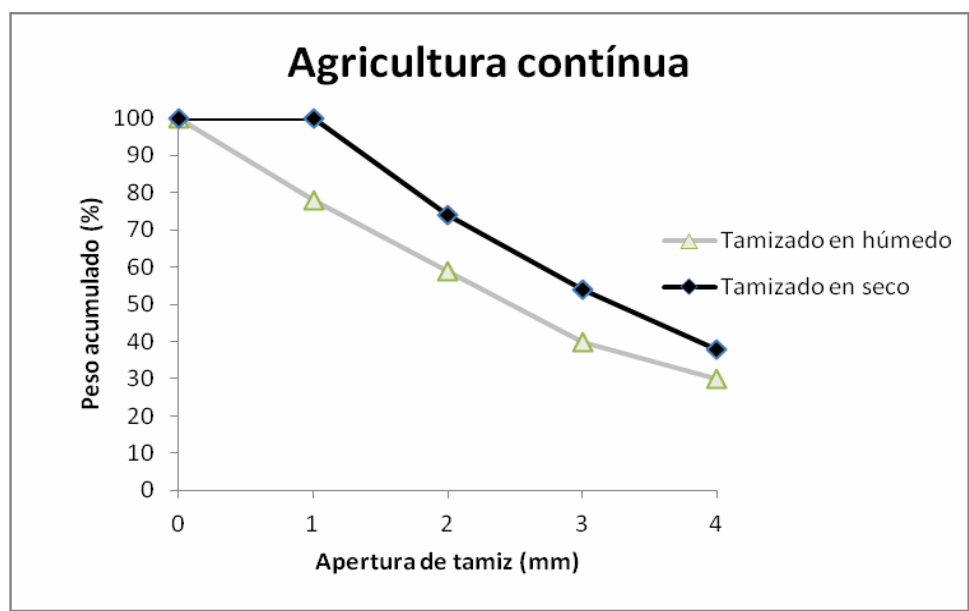
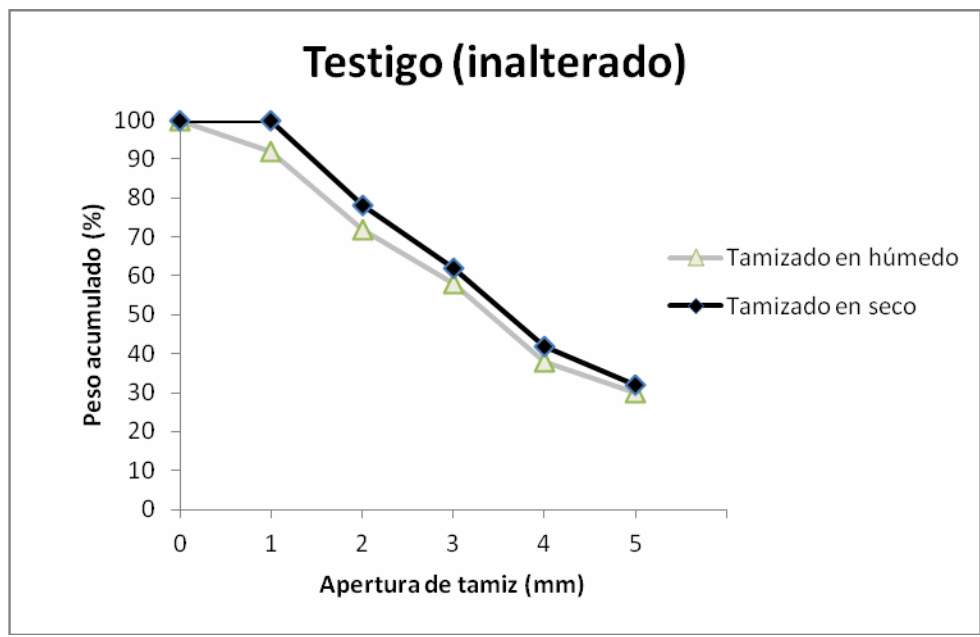


Figura 2: Ejemplos de Índices de estabilidad por el método de De Boodt y De Leenher. (Horizonte A de un Haplustol éntico, bajo dos manejos contrastantes)

Otra forma más rápida de cálculo es por comparación con un suelo conocido que posea una excelente estabilidad, así:

$$\text{Índice de estabilidad (\%I.E)} = \frac{\text{área del suelo de referencia}}{\text{área del suelo problema}} \times 100$$

Porcentaje del índice de estabilidad	Estabilidad estructural
Mayor de 50	Excelente
50% - 40%	Muy buena
40% - 30%	Buena
30% - 25%	Regular
Menor de 25%	Mala

b) Técnica de Henin

El método de Hénin et al (1958) examina la estabilidad afectada por la acción del agua que, en condiciones naturales, revela ser una de las causas principales del deterioro de la estructura. Las muestras de agregados tienen distintos tratamientos antes de someterse a una fuerte acción del agua: pretratamiento al etanol, pretratamiento al benceno y sin pretratamiento (llamado pretratamiento al agua).

Según su autor, el sumergir las muestras de suelo en el alcohol se atenúa y hasta se suprime el efecto de estallido en los agregados, por disminución de la tensión superficial entre las fases líquido –aire; luego, al penetrar el agua, como es miscible con el alcohol, desplaza a este último de los poros del agregado lentamente, sin producir estallido.

El pretratamiento con benceno sirve para poner de manifiesto el papel estructurante de la materia orgánica. Los agregados se empapan con benceno, líquido que se mezcla en la materia orgánica y protege a ésta de la acción degradante del agua, al no ser estos dos líquidos miscibles. Existe una tercera muestra de agregados de suelo sin tratamiento previo, secos al aire libre, en los que el agua ejercerá libremente su acción.

Las tres muestras se tamizan bajo agua en el aparato de Feodoroff, que

posee un solo tamiz con malla de 0,2 mm. Lo que debe pesarse es la cantidad de agregados mayores a 0,2 mm que quedan en el tamiz luego del tamizado en húmedo. Esto se repite para cada pretratamiento.

Con los datos de las tres pesadas y los provenientes del análisis textural, se calcula el Índice de Inestabilidad de Henin, que va de 0 a 100. Los suelos que poseen mayor estabilidad estructural tienen un índice cercano al valor cero. A medida que nos acercamos a cien, disminuye la estabilidad.

Sin embargo, el benceno requerido para uno de sus pretratamientos está clasificado como cancerígeno de primera categoría por lo que su uso es fuertemente desaconsejado.

c) Técnica de Le Bissonnais

El método de Le Bissonnais (1996) consiste en someter muestras de 10 g de agregados de 3-5 mm, a tres pretratamientos de laboratorio para el cálculo del diámetro medio ponderado de agregados estables (DMP) por: ·humectación rápida por inmersión en agua o efecto estallido (DMPe), ·disgregación mecánica por agitación después de la re-humectación en etanol (DMPd) y ·humectación lenta con agua por capilaridad (DMPc).

La fracción >50 µm resultante de cada pretratamiento, se secó en estufa y posteriormente se tamizó en una columna de tamices con el fin de lograr la distribución de agregados para los tamaños >2.000 µm, 2.000-1.000 µm, 1.000-500 µm, 500-200 µm, 200-100 µm y 100-50 µm. El DMP de cada pretratamiento se obtuvo como la suma algebraica de las masas de las fracciones remanentes de cada tamiz, multiplicado por la apertura de los tamices adyacentes, como lo indica la siguiente fórmula:

$$\sum [\text{Diámetros medios entre dos tamices (mm)} * [\% \text{ de partículas retenidas sobre el tamiz}]]/100$$

Este método otorga especial importancia a la utilización del etanol que permite, por un lado controlar la desagregación, y por otro, limita la reagregación de las partículas durante el secado. Al mismo tiempo, el alcohol controla la desagregación de la fracción fina del suelo y el efecto de hinchamiento diferencial, poniendo así en evidencia mecanismos que actúan en la cohesión de los coloides (Benavidez, 1971; Emerson & Greeland, 1990 y Grant & Dexter, 1990, citados por Amézketa, 1999).

Según Gabioud *et al* (2011) el DMP podría ser tomado como indicador de calidad de suelo y reflejar tendencias al deterioro y a la recuperación cuando el suelo es expuesto a diferentes usos. Este mismo autor (Gabioud *et al*, 2011) expone que el método propuesto por Le Bissonnais demuestra ser una alternativa válida para la evaluación de la estabilidad de agregados en suelos de la Argentina,

y los resultados obtenidos pretenden ser de referencia para otros laboratorios de suelo que requieran incorporar este método a su rutina.

ACTIVIDADES

Sobre agregados de distinto horizontes, grupos de trabajo realizarán las siguientes actividades:

- Describirán la estructura que observan, tratando de ubicar a que horizonte pertenece
- Determinarán la estabilidad de la estructura por el método del alcohol – agua.
- Simularán mediante bureta la acción de la gota de la lluvia sobre los agregados, contando el número de las gotas de agua necesarios para destruir los mismos.
- Cada grupo expondrá las conclusiones que obtenga de las determinaciones anteriores. Se discutirá entre todos cuales son los agentes que tienen que ver con la estabilidad estructural.

CUESTIONARIO GUÍA

- 1) ¿Qué es la estructura y que implicancia agronómica tiene?
- 2) ¿Qué es un agregado y como lo reconoce en un horizonte del suelo?
- 3) ¿Cómo se genera la estructura y cuáles son los agentes cementantes dominantes en los suelos de la región pampeana húmeda? (idem para suelos de Misiones y Entre Ríos)
- 4) ¿Qué es la estabilidad de la estructura? Si Ud. tiene dos muestras de un horizonte Ap, una llamada A con I.E= 80% y otra denominada B con un I.E= 30%, ¿Qué diagnóstico formularía y que recomendaría en cada caso?
- 5) Grafique las siguientes relaciones:

Estabilidad estructural Vs:

- Contenido de materia orgánica
- Actividad biológica
- Años de pradera
- Años de agricultura
- Porcentaje de arena

- 6) Usted tiene las siguientes descripciones de dos suelos:

Suelo 1:

Ap: 18 cm; 7,5 YR 3/3 en húmedo. Franco. Bloques subangulares medios débiles que rompen en gránulos. Regular estabilidad estructural.

B: 18–45cm; 7,5 YR 4/5 en húmedo. Franco. Estructura masiva, compactada hasta los 30 cm. Escasos barnices.

BC: 45-60 cm

C: 60-80 cm

Tosca: 80 cm

Suelo 2

Ap: 0-18 cm; 7,5 YR 2/2 en húmedo. Franco. Estructura migajosa. Muy buena estabilidad estructural.

B: 18-45 cm; 7,5 YR 3/4 en húmedo; franco. Estructura en bloques

angulares finos moderados. Escasos barnices.

BC: 45-60 cm

C: 60-80 cm

Tosca: 80 cm

a) ¿Qué diagnóstico puede formular con respecto de:

- Susceptibilidad a la erosión hídrica
- Tasa de infiltración
- Capacidad de almacenamiento de agua en el perfil
- Nivel de actividad biológica
- Crecimiento radicular para el cultivo de maíz

b) ¿Cuáles son las formas de mejorar la estructura de los suelos desagregados?

BIBLIOGRAFÍA

Amézketa, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *Jour. of Sustainable Agriculture* 14: 83-150.

Baver, L. D; Gardner, W. H. and H. Gardner. 1972. *Soil Physics*. Edit L. Wiley & Sons, Inc. New York.

Benito Rueda, E & F Díaz Fierro. 1989. Estudio de los principales factores que intervienen en la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.* , 48: 229-253.

Blackmore, A V and R. D. Miller. 1961. Tactoid Size and Osmotic Swelling in Calcium Montmorillonite. *Soil Science Society of America Journal Abstract*. Vol. 25 No. 3, p. 169-173.

Cerana, L 1978. La resistencia mecánica de los suelos y el crecimiento de los tallos subterráneos y raíces. Facultad de Edafología, Universidad Católica de Santa Fe.

Cerana, J; MG Wilson; JJ De Battista; J Noir & C Quintero. 2006. Estabilidad estructural de los Vertisoles en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias RIA* 35(1): 87-106.

Chenu, C. 1993. Clay- or sand-polysaccharide associations as models for the interface between microorganisms and soil: water related properties and microstructure. *Geoderma* 56: 143-156.

Chenu, C ; Y Le Bissonnais & D Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1479-1486.

Cosentino, D ; C Chenu & Y Le Bissonnais. 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2053-2062.

Da Silva, H. 1979. Guía de trabajos prácticos de Edafología y su fundamentación teórica. Universidad Nacional de Catamarca.

De Leenher, L. and M. De Boodt. 1985. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. *Inter Sysmp on soil structure*. Medeligen. Rykskandbouwhogesehool, Gent. Belgie, 24: 290-300.

Doran, JW & TB Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicek, and BA Stewart (eds .), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Am. Soc. Argon., Madison, WI. p. 3-21.

Hénin, S; G Monnier & A Combeau. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 9: 73-92

Gabioud, E. A., Wilson, M. G. Y Sasal, M. C. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de le bissonnais en tres órdenes de suelos. Revista "Ciencia del Suelo", Argentina. 29(2): 129-139.

Gavande, S. A. 1972. Estructura del suelo. Física de suelos. Editorial Limusa – Wiley, México. Cap 4: 77 – 104.

Gibbs, RJ & JB Reid. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Sci. , 8: 123-149.

Hénin, S; G Monnier & A Combeau. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron. 9: 73-92.

Henin, S. Grass, R. y Monnier, G. 1972. El perfil cultural. Ediciones Mundi – Prensa Madrid. Cap 4: 40 – 53.

Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Agregate stability and size distribution. In: Methods of Soils Analysis, part 1, Physical and Mineralogical Methods. De ASA – SSSA. Cap 17: 425 – 442.

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. European J. Soil Sci. , 47: 425-437.

Novelli, L; O Caviglia; MG Wilson & MC Sasal. 2010. Impacto de la frecuencia de soja sobre la agregación y el almacenaje de C en Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos. En: Anales del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina. Trabajo en CD.

Orellana, de J & M Pilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. Ciencia del Suelo 12: 75-80.

Pecorari, C. 1988. Inestabilidad estructural de los suelos de la pampa ondulada. EEA-INTA Pergamino. Informe Técnico N° 216. 16 p.

Sasal, MC; A Andriulo & M Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. Soil Till. Res. , 87(1) : 9-18.

Silenzi, J.C., Moreno A.M. y Lucero J.C. 1987. Ciencia del suelo, Volumen 5 N° 1 http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_5n1/Silenzi.pdf