

LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO

Por: Felipe Calderón Sáenz

Dr. Calderón Laboratorios

calderon@drcalderonlabs.com

Fecha de Publicación original 25/11/1997; Rev. 11/07/2022

INTRODUCCION

Se entiende por estructura del suelo el arreglo y la organización de las partículas constitutivas. Dichas partículas en su estado de máxima división constituyen partículas discretas, las cuales son aproximadamente indivisibles por las fuerzas del agua de riego y las tensiones que se generan durante el secado. Pero dichas partículas se encuentran en su estado natural formando agregados con diversos agentes cementantes y con diverso grado en la fortaleza de la cohesión que las mantiene unidas, formando "Grumos".

La Estructura del suelo según Montenegro (1991) tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc.; por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos de las cosechas.

Desde el punto de vista de la estructura del suelo, la agregación está dada por dos fenómenos importantes que son la floculación y la cementación. La floculación se debe a fenómenos electrocinéticos, es decir, se produce cuando partículas cargadas negativamente se acercan lo suficiente a otras de igual carga de tal manera que puedan ser unidas por un puente de carga contraria; al perder estabilidad en el sistema, muchos coloides "floculan"; la cementación, por otra parte, consiste en el enlace mutuo de las partículas floculadas, por acción de diferentes materiales o sustancias, denominadas "cementantes"; materiales orgánicos (humus), coloides inorgánicos (Al, Fe), carbonatos, óxidos, etc.

La formación de agregados estables requiere que las partículas primarias estén firmemente unidas entre sí, **que no se dispersen en agua**. En otros términos, la formación de agregados incluye tanto la floculación como la cementación.

Siendo el agua el principal agente dispersante de las partículas del suelo es lógico realizar las Pruebas Físicas de Estabilidad Estructural en medio acuoso. Para tal fin se propone la prueba denominada de "Elutriación", la cual ha sido diseñada para llevar cabo la prueba de estabilidad estructural que se describe más adelante.

FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Distribución de Partículas por Tamaño

Entre los múltiples factores que afectan la Estabilidad Estructural de los suelos tenemos en primer lugar la Distribución de Partículas por Tamaño, la cual constituye una de las características mas

importantes por cuanto afecta innumerables propiedades de los suelos, entre ellas: la superficie específica, la consistencia, la estructura, la porosidad, la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica, etc.

La distribución de partículas por tamaño se refiere a las proporciones relativas de arenas, limos y arcillas y, también, a las partículas o fragmentos superiores a 2 mm, hasta llegar a los tamaños de gravillas y gravas o fragmentos de mayor tamaño.

Esta distribución afecta la estabilidad estructural notablemente, por cuanto condiciona la “agregabilidad” o facilidad o tendencia de las partículas a dejarse unir entre sí. Para que las partículas de un suelo puedan unirse entre sí, se requiere de un cierto porcentaje de partículas finas, muy finas y de tamaño arcilla. Los suelos excesivamente arenosos, y cuando su fracción arena es muy gruesa, > de 2 mm, poseen muy poca “agregabilidad”. Por el contrario, cuando los suelos poseen un alto contenido de arcilla, su agregabilidad es alta. No quiere decir esto que tengan estabilidad estructural ya que dichos agregados podrían desbaratarse relativamente fácil en el agua. Cuando el suelo no tiene “agregabilidad”, es difícil lograr su estabilidad estructural, como es el caso con suelos formados por arenas gruesas.

Muchos investigadores han llegado a la conclusión de que la textura mejor balanceada corresponde a la de los suelos francos con arcilla entre 10 y 25%, limo entre 28 -50% y arena entre 30-55%. (Montenegro, 1991)

Cantidad y Clase de Arcillas

La cantidad y clase de arcillas tiene un marcado efecto sobre las propiedades del suelo que determinan su Estabilidad Estructural.

Entre las principales fuerzas que ligan las partículas elementales del suelo podemos destacar aquellas que se originan de los puentes Kaolinita-Calcio-Acido Húmico (Kaolinita-Ca-AH), Ilita-Calcio-AcidoHúmico (Ilita-Ca-AH) y Montmorillonita-Calcio-Acido Húmico (Montm-Ca-AH). Estas han sido extensivamente estudiadas por Varadachari, Mondal y Gosh (Soil Science, marzo 1995), quienes encontraron que a nivel de las partículas de arcilla, los puentes con el Acido Húmico se pueden establecer con diverso grado de fortaleza, dependiendo del catión intermediario, y del grado de saturación de la arcilla con Calcio, siendo mayor la ligazón del Acido Húmico a través de puentes Calcio que a través de puentes Sodio. También encontraron los mencionados autores que la ligazón Ilita-Ca-AH es más fuerte que la ligazón Montm-Ca-AH pero que esta última se ve afectada y puede aumentarse dependiendo del grado de dispersión y de otros factores.

MATERIA ORGÁNICA

Cuando la materia orgánica de las plantas se descompone por acción de los microorganismos y macroorganismos del suelo, sus productos, junto con las secreciones de los organismos vivientes, suministran materiales muy aptos para unir las partículas del suelo entre sí.

Los polisacaridos en particular, parecen favorecer la estabilidad de los agregados naturales; sus moléculas conforman una estructura alargada, lineal y flexible que fomenta el contacto estrecho de las partículas, uniéndolas por llenado del vacío entre ellas.

La acción cementante de los compuestos orgánicos es diferente, ya sea referida a sus cantidades totales, a la composición de los mismos o a los productos resultantes de la humificación. Estos últimos constituyen los principales agentes cementantes y de conservación de la estructura en los suelos tropicales. Debe anotarse que la acción orgánica supera la de los óxidos e hidróxidos de Hierro y Aluminio, aun cuando estos determinen la agregación de aquellos horizontes subsuperficiales con altos contenidos de ellos. (Montenegro, 1991)

TIPO DE MATERIA ORGÁNICA

Hay ciertas diferencias entre los varios tipos de materiales orgánicos en el suelo, las cuales deben ser comprendidas si uno trata de manejarlas. La materia orgánica del suelo ha sido dividida en cinco diferentes fracciones; dos representan detritus y tres representan materiales verdaderamente incorporados al suelo. (Wallace., 1994)

La Fracción Estructural de los Detritus. Esta comprende los fragmentos de paja, madera, tallos, y partes relacionadas. Puede incluir papel, cartón y otros desechos carbonáceos. Su tiempo de descomposición es cerca de tres años. Su relación Carbono/Nitrógeno varía alrededor de 150:1. Son productos altos en lignina. Se descomponen lentamente con pérdida de Anhídrido Carbónico usualmente con asimilación microbiana de su Nitrógeno, lo cual constituye inmovilización del Nitrógeno. Este Nitrógeno también puede provenir alternativamente de la fijación biológica de nitrógeno. Los productos orgánicos sobrantes se incorporan en otras fracciones junto con algo de su Nitrógeno.

La Fracción Metabólica de los Detritus. Esta comprende las partículas de hojas, corteza, flores, frutos y abono animal. Su tiempo de descomposición es menor de medio año. Su relación Carbono/Nitrógeno generalmente va de 10 a 25. Estos productos se descomponen con pérdida de Anhídrido Carbónico y se incorporan a otras fracciones con más estrecha relación Carbono/Nitrógeno. Esta transformación implica que la mayoría de los compuestos orgánicos residuales se hacen parte de los cuerpos de los microorganismos, que constituyen la siguiente fracción. Esta fracción cede Nitrógeno mineral a medida que se descompone con pérdida de Anhídrido Carbónico.

La Fracción Activa Viva en el Suelo. Esta es la fracción compuesta por los cuerpos de los microbios vivos o que han vivido, y sus metabolitos. Su tiempo de descomposición es variable, pero es razonablemente estable de tal manera que su carbono permanece en el reservorio por un promedio de 1.5 años. Su relación Carbono/Nitrógeno es alrededor de 5 a 15. Esta fracción recibe Nitrógeno de otros reservorios y también cede Nitrógeno al suelo; da vida al suelo.

Una cucharadita de suelo puede contener cinco billones de bacterias, 20 millones de varios hongos, un millón de protozoarios y aun algunos organismos mayores. Los microbios dentro de estos ecosistemas funcionan diversamente para crear mejor suelo y para mantener en balance a otros organismos que podrían destruir las cosechas.

Los microorganismos vivos construyen sus cuerpos principalmente tanto de la materia orgánica estable como de la materia orgánica no estable del suelo. aquí es donde la bioquímica del suelo se complica y se vuelve muy interesante.

La Fracción Lenta y Descomponible. Esta fracción es como el compost maduro. Tiene un tiempo de descomposición de 2.5 años y una relación Carbono/Nitrógeno de 10:1 a 20:1. Los compost con relaciones de 20:1 que se han hecho parcialmente estables durante largos períodos de digestión

biológica continúan su proceso de digestión en el suelo debido a que su relación es mayor que la de la materia orgánica estable y continúan al menos hasta que se alcance una relación de 10:1 . Para alcanzar la relación estable de 10:1, los microbios usan las fuentes de carbón en su metabolismo para liberar anhídrido carbónico, lo cual, gradualmente disminuye la relación. Fuentes adicionales de Nitrógeno pueden hacer lo mismo, con menos pérdida de anhídrido carbónico. El Nitrógeno es asimilado (inmovilizado) en la materia orgánica o liberado (mineralizado) de acuerdo a la relación de la materia orgánica con el estado estable o de acuerdo a la relación Carbono/Nitrógeno.

Esta es la fracción de la materia orgánica del suelo que realmente se descompone con la labranza y los cultivos para liberar un nitrógeno que puede ser usado por las cosechas. Esta fracción entonces tiene una considerable influencia sobre favorables propiedades físicas del suelo.

La Fracción Orgánica Pasiva durable 1000 Años. Esta es la fracción altamente estable y recalcitrante de la materia orgánica con tiempos de descomposición de alrededor de 1000 años. Tiene una relación Carbono/Nitrógeno de 7:1 a 9:1 y otras características relativamente bien definidas. Es resistente a la oxidación aun después de que la fracción lenta ha sido agotada (Paustian et al., 1992, Wagner, 1989-1990). No se descompone fácilmente y puede haber estado ahí como tal por miles de años. Esta fracción no está en equilibrio dinámico con los otros tipos de materia orgánica del suelo. Sin embargo, puede ser adicionada o sustraída. Algunos microbios pueden usarla como fuente de energía. Puede ser reabastecida tanto de la fracción activa como de la fracción lenta. Tiene una relación Carbono/Azufre bastante constante pero no Carbono/Fósforo. Esta materia orgánica es realmente una forma de "cemento" que se liga con las partículas del suelo, usualmente a través de puentes Calcio. Este cemento mantiene unidas las partículas del suelo y le imparte estructura al suelo, tan importante para la aireación, penetración del agua, control de erosión crecimiento radicular y crecimiento de los microorganismos favorables a las plantas. La fracción lenta, sin embargo, puede ser más importante para este propósito que la fracción pasiva.

ESTRUCTURA FÍSICA DE LA LIGAZÓN DE LAS PARTÍCULAS CON LA FRACCIÓN PASIVA CEMENTANTE.

Se han postulado tres tipos de enlace entre las diversas partículas de suelo (Montenegro, 1991)

Tipo A: Cuarzo - Materia Orgánica - Cuarzo

Tipo B: Cuarzo - Materia Orgánica - Arcilla

Tipo C: Arcilla - Materia Orgánica - Arcilla

Entendemos por cuarzo todo tipo de minerales exentos de cargas de superficie.

Este modelo propuesto por Emerson en 1959 citado por Montenegro (1991), tiene aspectos interesantes, algunos de los cuales son discutibles a la luz de los resultados experimentales de la actualidad.

La ligazón Cuarzo-Materia Orgánica, dudosamente podría existir debido a la carencia de cargas importantes en la superficie del cuarzo sobre las que se pudiera adherir una molécula orgánica. En nuestro laboratorio no hemos podido obtener ligazón Cuarzo-Materia Orgánica-Cuarzo.

Por el contrario la ligazón Arcilla-Materia Orgánica ha merecido mayor cantidad de estudios y también en nuestro laboratorio hemos obtenido buenas ligazones Arcilla-Materia Orgánica-Arcilla. Estas ligazones como vimos anteriormente dependen del tipo de arcilla y también de la parte involucrada de la arcilla, sea cara o borde, pudiéndose dar cuatro tipos de situaciones, todas con diverso grado de fortaleza en el enlace:

Cara-MO-Cara;
Borde-MO-Cara;
Borde-MO-Borde;
Borde-Cara;

De estas ligazones, la última no es una ligazón con Materia Orgánica, y cristalográficamente no tiene importancia por cuanto no constituye ningún mineral definido. Se trata solamente de débiles y eventuales cargas electrostáticas.

Los otros tipos de ligazones tienen marcada importancia en la estabilidad estructural de los suelos y hasta hoy se viene estudiando la naturaleza química del compuesto orgánico que hace esta ligazón.

A las anteriores ligazones habría que añadir por cierto la necesidad de estudiar más a fondo la fuerte ligazón existente entre las partículas de alófana-MO.

NATURALEZA QUÍMICA DE LA LIGAZÓN

Durante la descomposición de los tejidos de las plantas y microorganismos, se liberan al suelo un número considerable de sustancias que van desde los alifáticos simples hasta los complejos aromáticos y heterocíclicos. Muchos de estos compuestos se consideran productos intermediarios del metabolismo de plantas y microorganismos. Algunos se pueden liberar en el suelo como exudados de las raíces, mientras que otros resultan de la degradación oxidativa de la materia orgánica. (Burbano, 1990)

Muchos de los compuestos mencionados que influyen fuertemente en la estabilidad estructural del suelo, son del tipo de los polisacáridos, los cuales son a su vez biodegradables, y su acción es efímera, siendo necesario un continuo reabastecimiento de estos en aras de mantener una estructura estable. Este reabastecimiento implica a su vez que los microorganismos que los producen tengan alimento o sustrato para poder ejercer su actividad metabólica en forma continua a largo plazo. Otros, por el contrario, de estructuras más polimerizadas y complejas, con grupos fenólicos y radicales amínicos, son más estables, confiriendo estabilidad a más largo plazo.

El Humus se considera como el estado estacionario, cuasi final, mas importante y significativo de los compuestos orgánicos adicionados y presentes en los suelos. Está constituido por diversos polímeros con eslabones tanto cíclicos como acíclicos y diverso grado de ramificación, con pesos moleculares que van desde pocos cientos de unidades hasta varios cientos de miles. En la figura correspondiente se presenta una propuesta de estructura de las sustancias húmicas, destacándose un núcleo central de carácter aromático-pirrólico, con Nitrógeno y Oxígeno heterocíclico, junto con cadenas laterales fácilmente hidrolizables que darían origen a ácidos Fúlvicos y a Nitrógeno Amídico. (Burbano, 1990)

Los ácidos húmicos típicos presentan una unidad elemental aromática que tiene en la periferia uno o varios grupos funcionales, que les confieren propiedades físico químicas definidas a la materia

orgánica. Los principales núcleos son: ácido benzoico, pirrol, benzoquinona, furano, pirina. Además, se encuentran hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) como fenantreno, flouranteno, pireno entre otros. A veces se presentan azúcares (sacáridos) y aminoácidos como grupos accesorios de los AH. Como radicales externos se encuentran grupos ácidos de carácter fenólico y carboxílico (-OH, -COOH). Los grupos Amínicos (-NH₂), como radicales externos, son muy comunes y pueden contribuir hasta con el 70 % de los radicales externos del humus. (Burbano, 1990). De ellos resultan las propiedades de acidez de los AH del humus y su capacidad de formar uniones fuertes con el Calcio.

A pesar de haberse estudiado mucho la caracterización química de los humus con base en el fraccionamiento obtenido en el laboratorio con base en su solubilidad en soluciones acidas, alcalinas y de alcohol etílico, poco se ha avanzado a partir de este punto. Mas por el contrario se ha avanzado por el conocimiento de su tipo de acción fisicoquímica y comportamiento polielectrolítico, permitiendo sintetizar sustancias que tienen idéntica actividad, pero diferente estructura.

Las características de carga de las sustancias húmicas dependen del grado de disociación de los grupos Carboxil, OH-Fenólicos y NH₂-Amídicos. A pH menor que 3 se dice que la disociación de estos grupos funcionales se suprime, y la molécula húmica se comporta como un polímero sin carga. No obstante, a valores de pH entre 3 y 9 tiene lugar la disociación de los grupos carboxilo y amida, mientras que, a pH mayor de 9, los grupos OH-Fenólicos también se disocian. Por esto, la molécula húmica se comporta como un polielectrolito cargado negativamente, esto es, un polielectrolito aniónico, a valores de pH superiores a 3.0

Con base en las anteriores consideraciones se ha llegado a sintetizar sustancias que tienen la misma actividad húmica desde el punto de vista de su actividad poli electrolítica, como es, su actividad agregante sobre las partículas del suelo.

MUESTREO Y METODOS ANALITICOS

Para medir la estabilidad estructural de los suelos se ha utilizado tradicionalmente el método de tamizado en húmedo, el cual es demasiado dispendioso y no se lleva a cabo en la práctica corriente quizás por lo mismo dispendioso o por el desconocimiento de lo que sus resultados representan en la práctica y también porque en el pasado nos encontrábamos ante la imposibilidad de corregir resultados desfavorables. No lo describiremos aquí por tratarse de un método obsoleto descrito en otras partes.

Método cualitativo de la “Borona” (Dr. Arthur Wallace)

Sirve para obtener una idea cualitativa del estado de estabilidad estructural del suelo. Se basa en colocar una borona de suelo aproximadamente de 2 cm de diámetro en un vaso con agua y observar su comportamiento bajo condiciones de no agitación y agitación muy suave. Si el suelo es arcilloso, se deberá esperar al menos una hora para asegurar el completo humedecimiento de la borona con agua. Si el suelo es arenoso, los resultados se observan inmediatamente. Si la borona se desbarata, es porque el suelo no tiene estabilidad estructural; Si el agua se ensucia es porque la arcilla tiene tendencia a dispersarse. Con suelos de buena estabilidad estructural, la borona debe permanecer por varios días sin desbaratarse y sin ensuciar el agua.

Esta sencilla prueba permite en primera aproximación tener una idea del estado de estabilidad estructural del suelo y del estado de conservación de las ligazones que mantienen unidas entre sí las partículas del suelo. Si estas ligazones se conservan inalteradas, las partículas no deben ceder bajo su propio peso por la acción del agua; por el contrario, si los puentes cementantes son solubles en agua o han sido rotos por excesiva labranza, o por efectos de las sales, o simplemente no existen, la borona se desbaratará casi completamente por la acción del agua.

Esta prueba también se puede realizar con Boronas Reconstruidas una vez que se hayan determinado los acondicionadores específicos para cada clase de suelo. Para este fin, se construyen boronas de 2 cm de diámetro, amasándolas suavemente con la mano, adicionadas de los respectivos acondicionadores y con la ayuda de un poco de agua. Después se dejan secar al aire y posteriormente se observa su comportamiento al echarlas en agua. Para que el tratamiento sea efectivo, las boronas no deberán desbaratarse por lo menos durante las siguientes veinticuatro horas.

Prueba de Agregación con Yeso y con Acondicionadores Químicos.

Esta prueba permite observar si el suelo responde o no a las adiciones de yeso y/o acondicionadores químicos. Se basa en el hecho de que las partículas de arcilla cargadas negativamente, al saturarse con Calcio, cambian el comportamiento laminar y el grado de dispersión, confiriéndole propiedades físicas favorables al suelo. La forma como algunas arcillas reflejan la luz cuando están en suspensión permite saber si la arcilla tiene un comportamiento laminar disperso o granular. El comportamiento laminar de las arcillas le confiere al suelo enorme plasticidad y en general es altamente desfavorable a las buenas propiedades físicas del suelo. El Yeso en muchos casos convierte el comportamiento laminar de las arcillas en comportamiento granular. Esta última conversión puede ser fácilmente observada en el laboratorio.

Lograr la agregación de las partículas de suelo es el primer paso para obtener un suelo formado por boronas estables.

Adicionalmente al uso del yeso, la adición de acondicionadores químicos puede ayudar enormemente a agregar las partículas de un suelo tratado con yeso.

Para realizar esta prueba, se toman 50 gramos de suelo, se dispersan en 500 ml de agua, se divide la suspensión en 5 frascos de 100 ml c/u. Se le agrega a cada frasco 2, 4, 8, 16, 32 y 64 ml respectivamente de una solución sobresaturada de yeso recién preparada (C.E.= 4.5 mmhos). Se completa con agua hasta 160 ml. y se agita durante 5 minutos. Se observa la reflectancia de la suspensión en función de la cantidad de yeso agregada. Si hay una disminución apreciable de la reflectancia en función de la dosis, es porque el yeso está eliminando el comportamiento laminar de la arcilla.

Si no se presenta una agregación apreciable de las partículas del suelo con el uso de yeso, puede ser necesario recurrir al uso de acondicionadores químicos como la Poliácridamida (P.A.M.). Para tal efecto, se toman las suspensiones anteriores y se les agrega solución de P.A.M. de 200 ppm gota a gota hasta Full Floculación del suelo. Se cuenta el número de gotas. El yeso se debe agregar y dispersar siempre antes de agregar la solución de P.A.M. A veces es necesario o conveniente el uso de arcillas, las cuales ayudan a obtener buenas agregaciones en suelos que no tienen buena "agregabilidad", como los suelos arenosos, o los suelos que tienen ceniza volcánica relativamente gruesa.

Se realizan los cálculos teniendo en cuenta que 1 ml de solución sobresaturada de yeso de C.E. = 4.5 mmhos es igual a 4.5 mg de yeso. Para tratamientos a 10 cm de profundidad, 1 ton/ha de yeso representa 10 mg de yeso/10 gr de suelo. 1 gota de solución de P.A.M. de 200 ppm pesa 0.072 gr y contiene 0.0144 mg de P.A.M. Las dosis ensayadas cubren tratamientos hasta 10 cm de profundidad con 28 ton de yeso por ha.

Con los datos anteriores se calcula la mejor combinación Yeso-P.A.M desde el punto de vista técnico y económico.

Los suelos que contienen arcillas de tipo alófana, como los derivados de cenizas volcánicas presentes en la Sabana de Bogotá, no presentan comportamiento laminar, no tienen plasticidad y a veces no responden a las adiciones de yeso. Pierden estructura por la labranza excesiva pero la pueden recuperar mediante el uso de acondicionadores químicos como los polímeros polielectrolíticos aniónicos de alto peso molecular (P.A.M.) que imitan el papel del humus fresco.

Método de la “Elutriación”.

Este método sirve para medir cuantitativamente la estabilidad estructural del suelo.

Se basa en someter una muestra de suelo de 0.5 - 1.0 kg a una corriente ascendente de agua con el fin de “Elutriar” es decir, con el fin de que el agua se lleve las partículas de tamaño pequeño (< 0.5 mm) así como las partículas mayores que se desbaratan por la acción del agua (a velocidad suave).

Para llevar a cabo este método se toma una muestra de suelo de 1 kg tal como se prepara para sembrar; se deja secar completamente al aire; se toman 800 gramos y se colocan en el elutriador lleno de agua para evitar la caída brusca del suelo; se pone agua durante 10 a 15 minutos, parando a intervalos de 5 minutos; luego se drena el aparato y se saca la muestra de suelo, dejándola escurrir previamente. Se seca la muestra de suelo totalmente al aire como la primera vez; se pesa el total obtenido, así como las fracciones retenidas en los tamices de 1.0 y 0.5 mm. Es necesario que el suelo la primera vez esté completamente seco, ya que la estabilidad de un suelo que permanece siempre mojado es mayor que la de uno que se seca y se moja alternativamente. El peso de suelos seco obtenido, más las fracciones retenidas en los tamices de 0.5 y 1.0 mm se expresan como porcentaje de estabilidad estructural.

Un suelo virgen rico en materia orgánica, como los suelos que se encuentran sembrados de Kikuyo de más de 10 años en la sabana de Bogotá y en los valles de Ubaté, tienen estabilidades cercanas al 100 %. Por el contrario, los suelos trabajados en cultivos de flores como clavel, rosas, etc., sin ningún aporte de materia orgánica durante los últimos 8 a 10 años, presentan estabilidades de 20 al 30 % únicamente.

Para que un suelo no tenga problemas de estructura, es necesario que tenga estabilidades superiores al 80 %. Cuando la estabilidad es inferior, la parte que se desmorona se cuela por entre los poros y grietas de la parte estable, rellenándolos completamente y produciendo el sellamiento del suelo. (Erosión hacia adentro)

Si el suelo no presenta una estabilidad aceptable, es necesario entonces, proceder a recomendar las enmiendas que más convengan, tales como materia orgánica, cascarilla de arroz, escorias, arcillas, caolín, bentonitas, yeso, acondicionadores químicos etc.

Después de lo anterior, se realiza una "Curva de estabilidad estructural", con el fin de establecer las dosis óptimas de acondicionadores y comprobar su efecto sobre la estabilidad del suelo.

Curva de Estabilidad Estructural

Consiste en realizar los tratamientos recomendados a submuestras de suelo de 1 kg c/u y luego realizar las medidas de estabilidad a cada tratamiento. Los resultados de estas mediciones se llevan a una gráfica contra las dosis de acondicionadores escogidos y se determinan las dosis óptimas como aquellas que producen una estabilidad igual o superior al 80 %.

Para realizar la curva de estabilidad estructural con acondicionadores químicos como la Poliacrilamida (P.A.M.) se procede de la siguiente manera:

Se toma una muestra de 5 a 10 kg de suelo, tal como se prepara para sembrar, se deja secar parcialmente al aire, y se divide en cinco submuestras de 1 dm³ c/u, sin compactar, las cuales se colocan sobre papel periódico colocado sobre rejillas de malla para que drene libremente y para que se seque mas rápido. Si en las pruebas de agregación o de la borona se ha determinado que se requiere yeso u otro tipo de acondicionador, se le agrega la cantidad establecida a cada submuestra. Se tratan las submuestras con 300 ml de soluciones de P.A.M. de, 0, 62.5, 125, 250, 500 ppm respectivamente. En algunos casos puede ser necesario usar concentraciones de hasta 1000 ppm o también pueden ser necesarios dos o mas tratamientos. Se deja drenar cualquier exceso libremente. Se dejan secar las muestras tratadas totalmente al aire por tres a cuatro días y luego se realiza la prueba de "Elutriación" a cada submuestra. Los resultados se llevan a una gráfica de porcentaje (%) de estabilidad Vs. dosis de acondicionador. Si la estabilidad es inferior al 70 % es aconsejable repetir los tratamientos hasta obtener estabilidades superiores al 80 %

En suelos con mala estabilidad (30%) el uso de un solo tratamiento puede conducir a obtener estabilidades del 85 % que permanecen durante varios años. El uso de un tratamiento inicial mas unos tratamientos de mantenimiento cada tres meses, puede conducir a obtener estabilidades próximas al 100 %. De igual manera, tratamientos iniciales fuertes más un tratamiento permanente a muy bajas dosis (2 ppm) puede conducir a estabilidades cercanas al 100 %.

RECOMENDACIONES

Las principales estrategias que se pueden recomendar para mejorar la estructura física de un suelo así como su Estabilidad son las siguientes:

1. Realizar un Análisis Super-Completo de suelos, incluyendo todos los parámetros Físicos y Químicos.
2. Realizar las pruebas de agregación con Yeso y Acondicionadores Químicos.
3. Realizar las pruebas de la Borona Reconstruida
4. Realizar la Curva de Estabilidad Estructural con el tratamiento escogido.
5. Llevar a la práctica las recomendaciones establecidas. (Se requiere muy buena supervisión)

REFERENCIAS

Wallace, A. and G. A. Wallace. 1994. Water-Soluble Polymers help protect the Environment and correct Soil Problems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25:105-108.

Rojas, A. 1991. Criterios para la interpretación del análisis mineralógico de arcillas. En: Seminario-Taller "Fundamentos para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá D.E. Colombia.

Wallace, A. 1995. Test de la Borona. Comunicación personal.

Montenegro G., H. 1991. Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo (Textura, Estructura, Densidad, Aireación, etc.) En: Seminario-Taller "Fundamentos para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá D.E. Colombia.

Burbano, O., H. 1990. Interacciones de la Materia Orgánica y los Elementos Menores. En: Seminario: Actualidad y Futuro de los Micronutrientes en la Agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Palmira. Colombia.

Varadachari, Ch., Mondal, A. and K. Ghosh. 1995. The influence of crystal edges on Clay-Humus Complexation. *Soil Science* 159:185-190