

ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE AGREGADOS SUPERFICIALES EN SUELOS DEL ANOIA-PENEDÉS (BARCELONA) FRENTE AL HUMEDECIMIENTO Y EL IMPACTO DE LAS GOTAS DE LLUVIA.

M^a C. Ramos & S. Nacci

Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl
Universitat de Lleida

Abstract: In this paper, the structural stability of the surface aggregates of 11 soils from the Anoia and Penedés regions in Barcelona province (Spain), has been studied. Different indexes at laboratory level have been used implicating wetting and drop impact processes. The preliminary results point out a low stability of the soils, although the different indexes analysed allow to determine different degrees of stability.

Resumen: En el presente trabajo se ha realizado un estudio de la estabilidad estructural de los agregados superficiales de 11 suelos representativos de las Comarcas del Anoia y el Penedés utilizando diferentes índices estructurales a nivel de laboratorio. Los resultados aunque preliminares apuntan a una baja estabilidad estructural de los suelos al agua observándose diferencias en la aptitud de los métodos utilizados para establecer el grado de estabilidad.

INTRODUCCIÓN

Las comarcas del Anoia y el Penedés, situadas en la provincia de Barcelona, entre los ríos Anoia y Llobregat, donde el principal uso del suelo es el cultivo de la viña (aproximadamente 20.000 ha que representan el 80% de la superficie cultivada, Boixadera et al, 1990), sufren graves problemas de erosión hídrica debido a las propias características de los suelos, así como de las lluvias de elevada intensidad que se registran en la zona, características de un clima Mediterráneo.

El sistema de laboreo tradicional de la viña en la zona, eliminando continuamente las malas hierbas por la competencia por el agua con la

viña, hace que el suelo permanezca desnudo durante la mayor parte del año, lo que favorece los procesos erosivos. En estas condiciones es importante conocer el deterioro de la estructura debido al impacto de las gotas, deterioro que se manifestará en una disminución de la tasa de infiltración de agua, limitada por la conductividad hidráulica de la costra que se forma (Pla, 1983) y en una mayor escorrentía.

La importancia de la estabilidad estructural del suelo superficial radica en que es la capa que limita el intercambio agua-aire-atmósfera-suelo y además es la parte del suelo que está sometida continuamente a la agresividad climática y a las prácticas de manejo. En el presente estudio se han utilizado agregados superficiales de once

suelos para tratar de evaluar la resistencia de la capa superficial a dichos cambios.

La resistencia que los agregados superficiales del suelo ofrecen al impacto de la gota de lluvia se manifiesta por una mayor o menor susceptibilidad a la formación de sellado. Cuando la gota de lluvia impacta la superficie del agregado se desintegran la estructura superficial, creándose una variación en la tasa de penetración del agua y una acumulación superficial. Las partículas superficiales levantadas por el impacto de la gota pasan a la suspensión, orientándose y segregándose con las partículas más finas encima al sedimentar. El sello formado se caracteriza por tener muy pocos poros grandes, una alta densidad aparente y a menudo una estructura laminar por la orientación y estratificación de las partículas (Pla, 1995).

El estudio plantea la utilización de diferentes índices de estabilidad a nivel de laboratorio, los cuales reflejan un amplio espectro de procesos y mecanismos a los que son sometidos los agregados del suelo en condiciones naturales. Se analizan las relaciones entre los diferentes índices, así como las posibles relaciones de los mismos con la textura y la materia orgánica, a fin de determinar la aptitud de cada uno de ellos en la identificación del grado de estabilidad de un suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se ha llevado a cabo en las Comarcas del Anoia y el Penedés, situadas a unos 30Km al Sur-Oeste de Barcelona, entre los ríos Anoia y Llobregat. La tipología del área es compleja, predominando las rocas Sedimentarias. En algunos casos los materiales del Mioceno están cubiertos por depósitos cuaternarios de espesor variable y distribución irregular. La topografía se caracteriza por colinas y suaves pendientes disectadas por una red de profundos barrancos.

Desde un punto de vista climático se trata

de una zona de clima Mediterráneo, caracterizada por una distribución irregular de las lluvias a lo largo del año. El máximo de precipitación se registra durante los meses de otoño con tormentas de elevada intensidad (intensidades de más de 100mm/h en períodos cortos son habituales en la zona). La precipitación media del área es de 661mm, si bien existe una importante variabilidad interanual (Ramos et al, 1994). El régimen de humedad del suelo es xérico y la temperatura media es de 21°C.

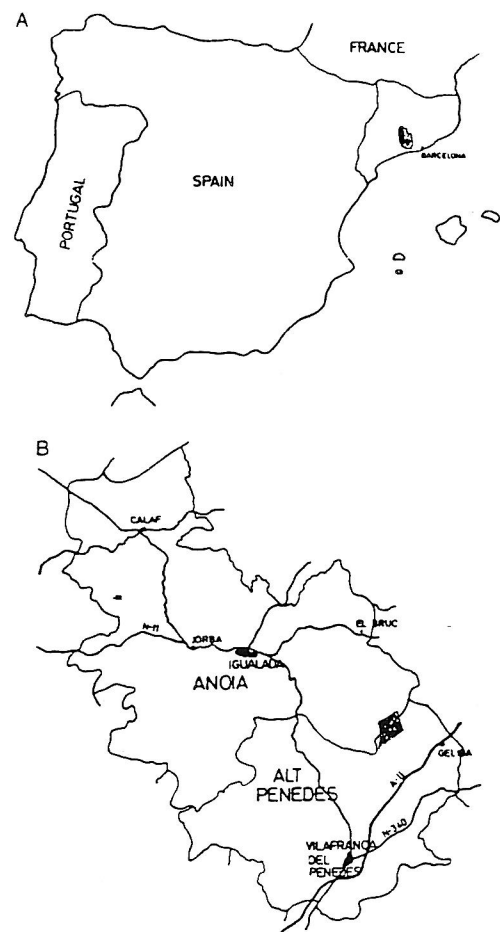


Figura 1: Localización del área de estudio.

Muestras.

Para el estudio se ha tomando muestras superficiales (0-20 cm) de 11 perfiles representativos de la zona (Martínez, 1997), que fueron secadas al aire y tamizadas según los requerimientos de cada método.

Índices de estabilidad de agregados.

Para el estudio de la estabilidad de agregados se utilizan tres métodos:

a) Método AEA de los agregados estables al agua (Kemper y Rosenau, 1986). Se cuantifica el porcentaje de agregados estables al agua de tamaño < 0,25mm después de ser sometidos a un proceso de humectación y desagregación en agua..

Se toman muestras de 4g de agregados de 1-2mm, que colocados en un tamiz de 0,25 mm se humectan lentamente con vapor hasta saturación. Los tamices se colocan en un aparato modificado de Yoder que somete las muestras a una oscilación vertical de 1,3 cm a 36 ciclos por minuto. El tamizado se realiza en aguas desionizada durante 3 minutos. El material que queda en el tamiz después de este tiempo se seca a 105°C y se pesa, para obtener la masa de agregados estables (AE). Después de pesado el material se dispersa por ultrasonidos en 60 ml de agua destilada durante 30 minutos y se tamiza de nuevo en agua desionizada durante 5 minutos. La fracción restante se seca de nuevo para obtener la masa de arena de diámetro > 0,25mm (A). El porcentaje de agregados estables al agua se calcula mediante la expresión:

$$\%AEA = [(SA - A) / (\text{masa de suelo original} - A)] * 100$$

Para cada muestra se realizan 4 repeticiones.

b) Método DMP de desagregación en etanol (Le Bissonnais, 1988, 1989, 1990). Se determina la distribución de tamaños y el diámetro medio ponderado de la fracción estable después de tres tratamientos y posterior desagregación en etanol. La utilización de etanol en la desagregación prevé la hinchazón y contracción debido a la tensión superficial relativamente baja y la menor

constante dieléctrica. (Emerson and Greenland, 1990).

Se toman muestras de 4g de agregados de 1-2mm y se les somete a los siguientes tratamientos:

-humectación rápida: los agregados se colocan en un tamiz de 0,25mm y se sumergen durante 10 minutos en 100ml de agua desionizada. Los tamices se transfieren al aparato de Yoder para la desagregación de las muestras en etanol del 95%

-humectación lenta: los agregados se colocan en un tamiz de 0,25mm y se someten a humectación en una cámara de vapor hasta saturación. Después se transfieren al aparato de Yoder para desagregación en etanol del 95%.

-humectación con agitación: los agregados se sumergen durante 10 minutos en 50 ml de etanol. Después se retira el etanol y los agregados se transfieren a un erlenmeyer con 100 ml de agua desionizada. Se agita 20 veces (abajo y arriba) y se deja reposar durante 30 minutos. Se retira el agua y el alcohol y los agregados se transfieren a un tamiz para seguir el proceso de desagregación en etanol, igual que en los dos tratamientos anteriores.

En los tres procesos, la determinación se completa con el secado de la muestra que queda en el tamiz después de la desagregación, y su posterior tamizado en una torre de tamices de 2, 1, 0,5 y 0,25mm. La masa recogida en cada uno de ellos en relación con su diámetro permitirá calcular el diámetro medio ponderado (DMP), para cada uno de los procesos, además de la distribución de tamaños para cada una de las muestras. Para cada muestra se realizan cuatro repeticiones.

c) Estabilidad de los agregados frente al impacto de las gotas (índice de sellado e índice de sellado relativo) (Pla, 1983; Nacci & Pla, 1991)

El método permite establecer una relación entre la rapidez en el descenso de la tasa de penetración del agua a través de la capa de agregados de suelo de 4mm, a medida que se forma el sello por el impacto de las gotas que

caen a una intensidad constante sobre los agregados, y la tasa de penetración que se establece cuando la capa de agregados es protegida y se mantiene una carga constante de agua.

Para esta determinación se utiliza un simulador de lluvia de laboratorio que consiste en un depósito de agua (tipo Mariot invertido) sobre un sistema de goteros, que mantiene una lámina constante de agua que permite regular la intensidad. Las gotas formadas (3-4mm) caen desde una altura de 2m por encima de la muestra de suelo, la cual está colocada en un embudo buchner, en cuyo fondo se ha dispuesto previamente una malla de tela. El embudo lleva una extensión para evitar la salpicadura y una salida auxiliar para evitar que la lámina de agua que se forme sobre la muestra no supere los 4cm. Todo el conjunto se coloca sobre una plataforma giratoria equipada para la recogida del agua que percola una vez comenzada la prueba.

Una vez calibrada la intensidad de lluvia, se sitúa justo debajo de los goteros el embudo buchner que contiene una capa de 1cm de espesor de agregados de 2-4mm, y se inicia la prueba llevándose el registro de la lámina percolada en función del tiempo transcurrido desde que se inicia la percolación hasta que la misma se haga constante o se alcancen los 45 minutos. Además se anota el tiempo de inicio de la lluvia y el tiempo de acumulación de agua en la superficie.

Los volúmenes recogidos en los intervalos determinados, junto con la intensidad permiten calcular la lámina caída y la lámina percolada, y a partir de éstos se determina la conductividad hidráulica promedio del intervalo.

$K(\text{mm/h}) = \text{lámina percolada} / (\text{gradiente hidráulico} * \text{tiempo})$

El mismo test se repite con muestras similares de cada suelo, recubriendo ahora la superficie con una malla de tela, para evitar el impacto de las gotas y manteniendo un nivel de agua constante de 1cm sobre la superficie. La relación de la conductividad hidráulica que se alcanza con y sin protección nos da un índice de sellado relativo que permite hacer interpretaciones sobre la estabilidad de la estructura.

Se realizan 3 repeticiones de cada determinación.

Determinación de textura y materia orgánica

Se utilizan muestras de suelo tamizadas a 2mm, siguiendo los métodos descritos en Porta et al., 1986.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra las características de los suelos utilizados en el estudio de estabilidad estructural.

Tabla 1. Distribución de tamaños de partículas y contenido de materia orgánica.

| suelo | textura | arena gruesa (%) | arena fina (%) | limo (%) | arcill a (%) | m.o. (%) |
|-------|-------------------------|------------------|----------------|----------|--------------|----------|
| s1 | franco-arcillosa-limosa | 3,1 | 11,6 | 56,4 | 28,9 | 0,9 |
| s2 | franca | 19,5 | 22,5 | 33,6 | 24,4 | 1,8 |
| s3 | franca | 21,6 | 26,2 | 33,9 | 18,3 | 1,5 |
| s4 | franca | 13,0 | 22,5 | 46,4 | 18,2 | 1,6 |
| s5 | franca | 5,6 | 27,8 | 45,3 | 21,3 | 1,1 |
| s6 | franca-limosa | 4,7 | 27,9 | 49,4 | 18,0 | 1,2 |
| s7 | franca-limosa | 6,14 | 30,3 | 49,0 | 14,5 | 1,5 |
| s8 | franco-limosa | 6,1 | 15,4 | 63,1 | 15,5 | 1,0 |
| s9 | franca | 9,1 | 33,5 | 46,3 | 11,1 | 0,75 |
| s10 | franco-limosa | 2,3 | 19,2 | 53,2 | 26,3 | 0,2 |

Análisis comparado de los diferentes índices de estabilidad estructural de agregados superficiales.

Estabilidad de los agregados frente a la humectación

La tabla 2 muestra los resultados de los índices de estabilidad estructural obtenidos para cada uno de los suelos estudiados según los métodos EAE (Kemper y Rosenau) y DMP (Le Bissonnais) en los que los agregados son sometidos a humectación y posterior desagregación, con diferentes tratamientos. Las determinaciones correspondientes al método de Kemper & Rosenau para las 4 repeticiones se han obtenido con CV inferiores al 5%. Para el método de Le Bissonnais los CV de todas las determinaciones de DMP son inferiores al 4%.

A la luz de los resultados se observa que no existe correspondencia a nivel general entre los resultados correspondientes a mismo suelo según los diferentes tratamientos, encontrándose resultados que incluso llegarían a clasificar las muestras de forma contradictoria. No obstante se ha de tener en cuenta que cada uno de los tratamientos hace intervenir fuerzas diferentes.

Teniendo en cuenta los valores de estabilidad referentes al método de Kemper y Rosenau, se podrían considerar dos grupos: uno de eleva-

da estabilidad (valores AEA superiores al 75%) que incluiría los suelos s1,s2, s3 y s4, otro de estabilidad media (valores entre 50 y 60%), suelos s5,s6,s7,s9 y s10 y un caso de baja estabilidad (36%), suelo s8. Sin embargo, observando los valores de los DMP del método de Le Bissonnais, si bien existen casos en los que el comportamiento se mantiene (suelos s3,s4,s6 o s9 por ejemplo), en otros casos se observan irregularidades .

Si se considera como ejemplo la muestra s10, se observa como según método de Kemper y Rosenau, se podría considerar un suelo con una estabilidad media, y observando los valores de DMP correspondientes a los tres métodos los resultados de cada uno de ellos son totalmente opuestos: DMPr (bajo), DMPI (alto), DMPa (intermedio). En otros casos existe correspondencia entre dos o tres de los tratamientos, pero estos resultados son opuestos a los del resto de los tratamientos Este es el caso por ejemplo del suelo s11, medianamente estable según el método de Kemper y Rosenau, y altos índices según el método de Le Bissonnais, o los suelos s1 y s2, para los que no hay concordancia entre los tres tratamientos del método de Le Bissonnais, pero si entre algunos de ellos y el método de Kemper y Rosenau.

Tabla 2: Resultados de los test de estabilidad estructural : AEA (método de Kemper y Rosenau), DMPr (humectación rápida), DMPI (humectación lenta) y DMPa (humectación con agitación) (método de Le Bissonnais).

| Suelo | AEA (%) | DMPr (mm) | DMPI (mm) | DMPa (mm) |
|-------|---------|-----------|-----------|-----------|
| s1 | 89,0 | 0,33 | 1,32 | 0,75 |
| s2 | 89,0 | 0,25 | 1,05 | 0,46 |
| s3 | 76,4 | 0,67 | 0,98 | 0,70 |
| s4 | 88,0 | 0,95 | 0,88 | 0,71 |
| s5 | 57,5 | 0,24 | 0,45 | 0,43 |
| s6 | 52,5 | 0,13 | 0,34 | 0,18 |
| s7 | 60,9 | 0,17 | 0,65 | 0,31 |
| s8 | 36,3 | 0,39 | 0,73 | 0,46 |
| s9 | 56,9 | 0,44 | 0,58 | 0,47 |
| s10 | 57,7 | 0,17 | 0,90 | 0,45 |
| s11 | 54,3 | 0,44 | 0,95 | 1,05 |

Resultados análogos se observan al analizar la distribución de los tamaños de los agregados obtenidos después de cada tratamiento en el método de LeBissonnais (Figura 2). Los porcentajes de materia total recogida, lógicamente son muy diferentes en los tres procedimientos, siendo el tratamiento de la humectación con agitación, el que al parecer por el tipo de fuerzas que implica, se asemeja más a los resultados que tiene lugar en la desagregación con agua. Se observa la misma gradación entre los porcentajes de masa totales y de tamaño 1-2 mm, y los valores de % AEA.

Para la humectación lenta, los porcentajes de agregados de tamaño 1-2mm, también proporcionan una información similar para los suelos que resultaron ser más estables por el método de Kemper y Rosenau, pero presentan algunas variaciones en el grupo de los suelos considerados menos estables (s10 y s8).

La distribución de los agregados correspondiente a la humectación rápida no guarda ninguna relación, si bien el análisis conjunto de estos resultados con los de las distribuciones de tamaños y masa total recogida por los otros dos tratamientos, permitiría determinar las situaciones extremas: suelos fuertemente estables (s4 y s2) y suelos muy inestables : (s6).

Estabilidad de los agregados frente al impacto de las gotas

El comportamiento de los suelos frente al impacto de las gotas de agua se muestra en la figura 3. Todos los suelos estudiados son muy susceptibles a la formación de un sellado superficial, como se observa por la rápida disminución de la conductividad hidráulica del sello (K_s) en un breve período de tiempo. En estos suelos susceptibles al sellado por impacto de la gota, el sello actúa como un cuello de botella, y debido a la baja conductividad hidráulica que se establecen en unos pocos mm superficiales, las posibilidades de captación de agua se reducen notablemente.

En la bibliografía se encuentra, que valores de $K_s < 5\text{mm/h}$ alcanzados en tiempos de 20

minutos son indicativos de situaciones problemáticas, sobre todo en zonas de pendientes donde el agua provoca exceso de escorrentía y erosión (Pla, 1983).

Las características topográficas del área, unido a que en poco tiempo de prueba se alcanzan valores de la conductividad hidráulica del sello muy pequeñas, hacen pensar que los procesos de escurrimiento de agua superficial son favorecidos en la zona.

Dentro de la alta susceptibilidad de los suelos de la zona a formar sellado superficial, el método utilizado refleja variaciones en la evolución de la conductividad hidráulica del sello a lo largo de la prueba, encontrándose desde suelos muy susceptibles a formar sellado, donde el sello se forma casi desde el principio de la prueba y para los que se alcanzan valores de $K_s < 1\text{mm/h}$ (como son los suelos s8, s9 y s10), hasta suelos para los que, a pesar de que la K del sello que se desarrolla tiene un valor bajo ($5,5\text{mm/h} > K_s > 1\text{mm/h}$), tarda más tiempo en alcanzarse.

Esta sensibilidad del método para reflejar dichas diferencias permite agrupar los suelos en tres grupos según la resistencia que sus agregados superficiales muestran al impacto de la gota: muy susceptibles - medianamente susceptibles - susceptibles.

La marcada susceptibilidad de los suelos estudiados del Anioia -Penedés a la formación de sellado superficial, coincide con el hecho de que las fracciones de limo y arena fina son las fracciones predominantes en todos los suelos estudiados. Las variaciones que se observan en la susceptibilidad pueden deberse más bien a mayores porcentajes de materia orgánica (como es el caso del s2) y a que las fracciones de arena gruesa y arcilla están en mayor proporción.

En la tabla 3 se muestran también los valores de conductividad hidráulica del sello superficial cuando el mismo no es sometido al impacto de la gota (K_c), así como los índices de sellados relativos (ISR), calculado como la relación entre la K_c mínima con cobertura y la K_s mínima con sello. La K_c da información sobre

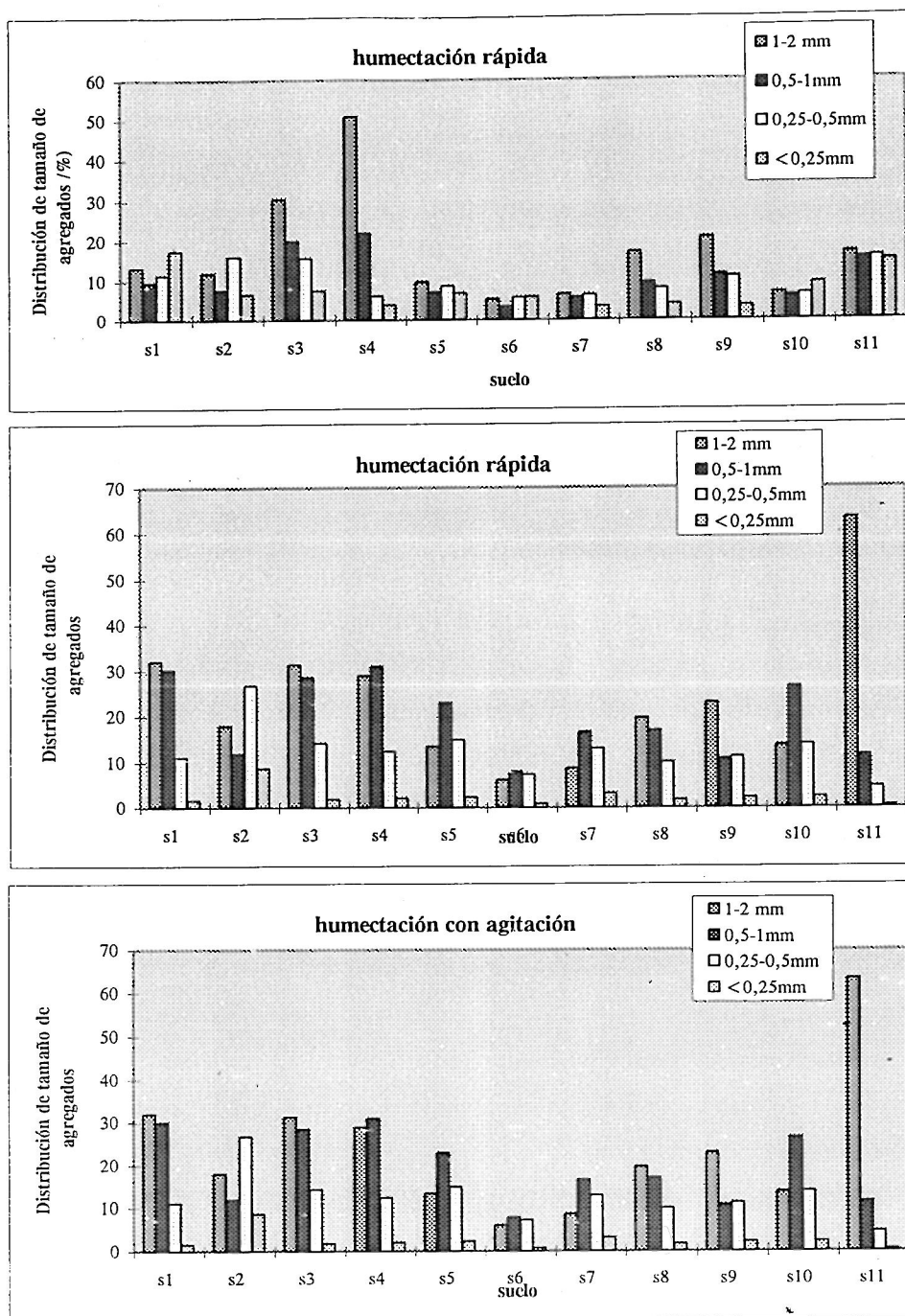


Figura 2: Distribución de tamaño de agregados según los tres tratamientos: humectación rápida, lenta y con agitación (método de Le Bissonnais)

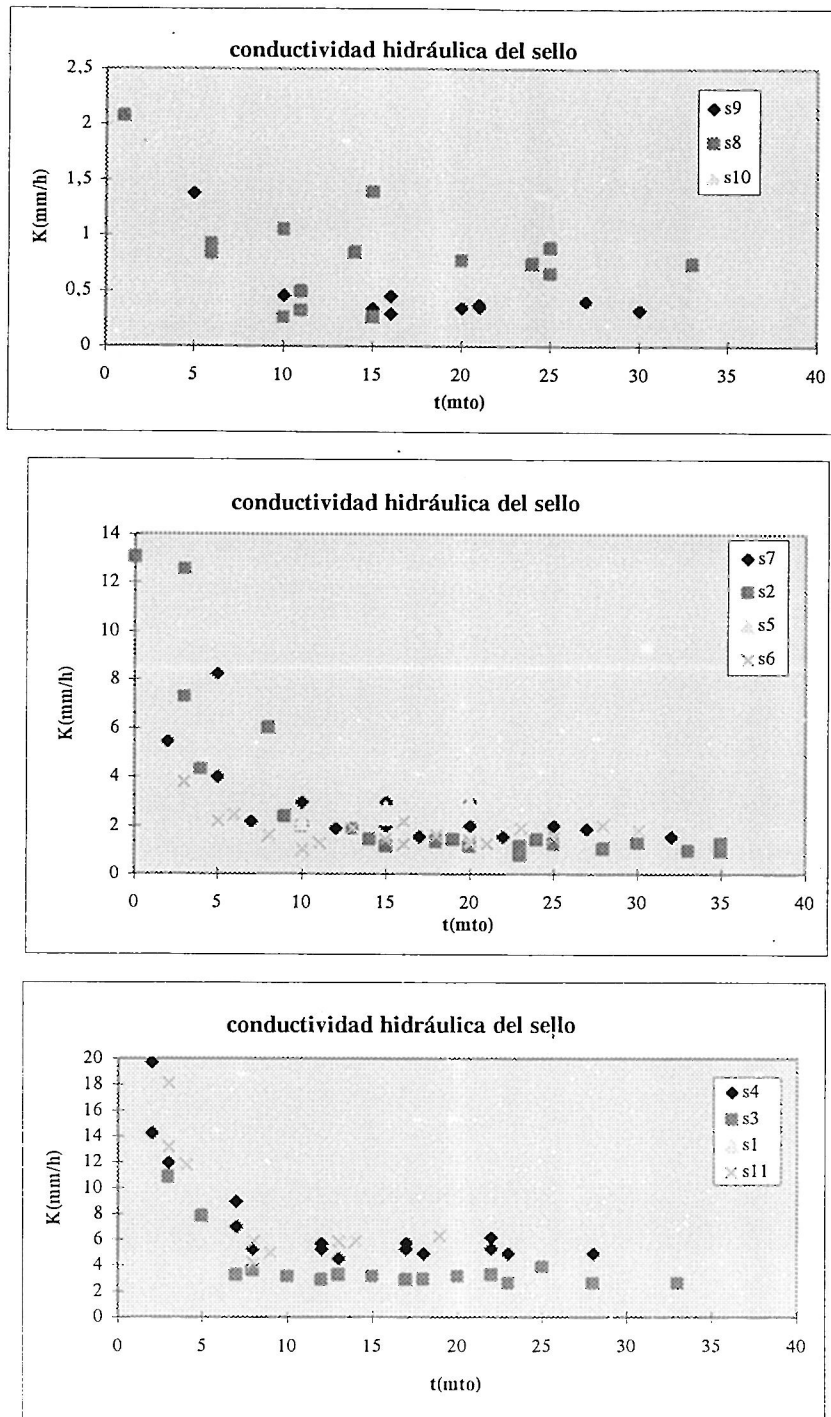


Figura 3: Evolución de la conductividad hidráulica del sello formado con impacto de las gotas.

la capacidad potencial de los suelos para la penetración del agua. El ISR permite establecer relaciones sobre la tasa de penetración al agua al suelo cuando éste es protegido, y lo que la tasa puede llegar a reducirse por efecto del sello

Así pues, para los suelos estudiados, al ser muy susceptibles a la formación de sello, la forma en que el suelo recibe agua afecta al proceso de penetración de la misma en el perfil, y el uso de una cobertura que proteja los agregados superficiales del impacto de la gota, implica un aumento potencial de la tasa de penetración del agua, como se puede ver en la tabla 3, en la que la mayoría de los casos estudiados es del orden de unas 100 veces mayor, siendo los suelos más susceptibles al sellado los que más se beneficiarían. Los valores del ISR permiten a priori considerar que el uso de prácticas de cobertura para los suelos estudiados conduciría a mejorar la tasa de penetración, sobre todo en los suelos s9 y s10 (con ISR de 294 y 216, respectivamente).

A pesar de que los métodos de determinación de estabilidad estructural utilizados implican fuerzas y procesos diferentes, se observa que a nivel general, los valores más altos de Ks se corresponden con los mayores porcentajes de agregados estables al agua (método Kemper

y Rosenau), y los diámetros medios ponderados y los porcentajes de agregados de tamaño mayor, también más elevados, por lo que todos ellos conducen a una misma valoración de la estabilidad estructural de los suelos (salvo las excepciones indicadas)

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados presentan una alta susceptibilidad a la formación de sellado superficial, susceptibilidad que está asociada a los niveles de materia orgánica, y a las características texturales de los suelos.

Los dos métodos de estabilidad de agregados utilizados que implican humectación, con los diferentes tratamientos, no presenta una correlación entre sí para todos los casos, si bien la información complementaria que ofrecen referida a la distribución del tamaño de los agregados, permiten identificar y clasificar los suelos de acuerdo a diferentes grados de estabilidad. De todos los tratamientos del método de Le Bissonnais, el que implica la humectación con agitación es el que conduce a una gradación de los suelos en cuanto a su estabilidad más similar.

1 Comparando los métodos para la deter-

Tabla 3: Valores límite de la conductividad hidráulica del sello superficial, con impacto de las gotas (Ks) y sin impacto (Kc), expresados en mm/h; tiempo hasta que se alcanza la estabilización [con impacto ($t_{s \text{ lim}}$) y sin impacto ($t_{c \text{ lim}}$)].

| Muestra | Ks (mm/h) | $t_{s \text{ lim}}$ (mto) | Kc (mm/h) | $t_{c \text{ lim}}$ (mto) | ISR |
|---------|--------------|------------------------------|--------------|------------------------------|-------|
| s1 | 3,72 | 30 | 600,00 | 28 | 161,5 |
| s2 | 1,26 | 25 | 244,00 | 26 | 46,7 |
| s3 | 3,25 | 20 | 527,38 | 13 | 162,5 |
| s4 | 5,41 | 20 | 592,30 | 20 | 109,4 |
| s5 | 4,13 | 20 | 363,00 | 17 | 87,9 |
| s6 | 1,69 | 20 | 85,45 | 10 | 50,7 |
| s7 | 2,16 | 10 | 158,55 | 10 | 73,4 |
| s8 | 0,76 | 10 | 68,75 | 13 | 90,9 |
| s9 | 0,35 | 10 | 103,15 | 12 | 294,2 |
| s10 | 0,94 | 10 | 202,50 | 10 | 216,5 |
| s11 | 4,93 | 8 | 515,85 | 35 | 104,6 |

minación de la estabilidad estructural, que implican diferentes tipos de procesos, humectación e impacto de las gotas, se observa que a nivel general, los valores más altos de Ks se corresponden con los mayores porcentajes de agregados estables al agua (método Kemper y Rosenau), y los diámetros medios ponderados y los porcentajes de agregados de tamaño mayor más elevados (método de Le Bissonais), por lo que todos ellos conducen a una misma valoración de la estabilidad estructural de los suelos

A la luz de los resultados de ISR, el uso de cobertura en los suelos estudiados mejoraría la tasa de penetración de agua en el suelo.

Con las condiciones de lluvia y topografía de la zona de estudio, y debido a la alta susceptibilidad de los suelos a la formación de sellado, que conlleva una fuerte reducción de la penetración del agua en el suelo es de esperar un menor almacenamiento y disponibilidad de agua en el perfil para el desarrollo de los cultivos.

REFERENCIAS

- Boixadera J, J. Porta & M. Antúnez (1990). Degradació de sòls per erosió hidrica en areas de conreu de vinya de la D.O. Penedés. Proc. II Congrés ICEA. Lleida, 1990. Pp 251-259
- Emerson W.W. & D.J. Greenland (1990). Soil aggregates: formation and stability p 485-511. In M.F. De Boodt et al, (de). Soil colloids and their associations in aggregates . NATO ASI series. Serie B. Physics; v15. Plenum Press, New York.
- Le Bissonais Y, 1988. Comportment d'agrégats terreaux soumis a l'action de l'eau: analyse des mécanismes de désagrégation. *Agronomie* 8(10):8915-924
- Le Bissonais Y, 1989. Analyse des processus de microfissuration des agrégats a l'humectation. *Science du Sol* 27(2): 187-199
- Le Bissonais Y., 1990 Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. In R.B. Bryan (de). *Soil erosion. Experiments and models*. Catena Supplement 17: 13-18
- Martínez, J.A., (1997). Comunicación personal sobre el Mapa de suelos de la zona de estudio (pte. de publicar).
- Nacci S. & I. Pla (1991). Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades de los suelos. Maracay. Venezuela. FONAIAP. Centro Nacional de investigaciones Agropecuarias, 48p. serie B, n° 17.
- Kemper W.D. & R.C. Rosenau 1986. Aggregate stability and size distribution . In. A. Klute (de). *Methods of Soil Analysis. Part Y. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd, de. *Agronomy* 9: 425-442
- Pla I., (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo de suelos en condiciones tropicales, 91pp. Maracay. Venezuela
- Pla I. (1986). A routine laboratory index to predict the effect of soil sealing on soil and water conservation. In Callebout et al, (ed). *Assesment of soil surface sealing and crusting*, pp 154-163. University of Gent. Belgium.
- Pla I., (1995) *Soil Sealing Processes and Effects*. College on Soil Physics, sept, 1995. International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italia.
- Porta J., M. López-Acevedo & R. Rodríguez (1986). Técnicas y experimentos en edafología. COIAC. Barcelona, 283pp
- Ramos M.C. & J. Porta (1994). Rainfall intensity and erosive potenciality in NE Spain Mediterranean area. First results on sustainability of vineyards. *Il Nuovo Cimento*, 17(3): 291-299