

RESUMEN

Las condiciones ambientales semihúmedas de la zona de estudio influyen de manera directa sobre las características de los suelos allí desarrollados, siendo la vegetación un factor clave sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.

Estas relaciones se manifiestan en los distintos parámetros del suelo de manera que:

Los valores de humedad gravimétrica a lo largo del año presentan relaciones directas con las precipitaciones medias registradas, e inversas con las temperaturas medias del aire obtenidas en la estación meteorológica.

Los contenidos medios anuales de la humedad gravimétrica del suelo son siempre mayores bajo especies herbáceas, seguido de los suelos que soportan vegetación de porte medio (*Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*), siendo los menores niveles de humedad gravimétrica los obtenidos en los pasillos.

En los meses de diciembre, febrero, y de abril a julio se observa una disminución en los niveles de humedad volumétrica, con algunas excepciones especialmente en suelos bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus* y *Ulex parviflorus* (en diciembre), y en pasillo pedregoso y bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum* (en junio). Pero a partir de agosto y hasta noviembre los contenidos de humedad se van incrementando de manera progresiva en la mayoría de los puntos de muestreo, salvo bajo las especies *Rosmarinus officinalis*, *Cistus albidus* y *Brachypodium retusum* (en agosto) y bajo *Ulex parviflorus* (en octubre).

Los valores texturales denotan un contenido medio elevado de arcilla en todos los puntos de muestreo, y una baja desviación. La mayor cantidad de microporos y arcilla produce una elevación del agua fuertemente retenida por la estructura del suelo (*Juniperus oxycedrus*), mientras que ligeras modificaciones de estos parámetros originan una disminución del contenido de agua útil (*Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*).

El estado de agregación del suelo es un parámetro sintético capaz de explicar la calidad del suelo de la zona al estar influenciado por los procesos de evolución edáfica, por la erosión, por la vegetación, por el uso y por las propiedades físicas y químicas del suelo.

Los resultados de la agregación del suelo indican que los valores medios mensuales de las distintas fracciones de las muestras de suelo superficiales (horizonte A₁), presentan una distribución de agregados predominante a lo largo del año que sigue la pauta (5-2 mm) > (2-1 mm) > (<1 mm) > (10-5 mm) > (>10 mm). Estacionalmente, los porcentajes más elevados de las fracciones mayores (>10 y de 10-5 mm) predominan en los horizontes subsuperficiales (A₂). En la fracción intermedia de 5-2 mm esto ocurre en los meses estivales (desde junio a agosto), y en los meses de febrero y mayo, siendo en el resto de meses del año donde los suelos superficiales (A₁) presentan valores más elevados que los subsuperficiales (A₂). En cambio, en las fracciones de menor tamaño (2-1 mm y <1 mm), durante todos los meses del año se registran porcentajes más altos en los horizontes superficiales (A₁).

La acción agregante de las raíces se manifiesta en la época estival y en primavera, cuando aumenta la capa mucilaginosa que existe alrededor de las raíces que confiere al suelo una acción cementante sobre las partículas producidas por las raíces y bacterias de la zona radicular.

Los resultados obtenidos en los diferentes microambientes muestran, tanto para suelo seco como húmedo, la mayor estabilidad para la especie *Brachypodium retusum*, seguido por los suelos bajo aromáticas y por último pasillos. El aumento del contenido de humedad eleva la estabilidad de los agregados (pF 1), hecho que se manifiesta también en los meses en los que existe aumento de precipitación (enero y octubre), con un acusado descenso en meses secos (julio).

De forma similar a los resultados obtenidos de diámetro medio de los microagregados, los valores medios más elevados de microagregados estables al agua se alcanzan en los suelos bajo *Brachypodium retusum* y *Santolina chamaecyparissus*, le siguen con valores algo inferiores los suelos bajo *Cistus albidus*, *Lavandula latifolia* y *Ulex parviflorus*, observándose los valores más bajos en los suelos bajo *Rosmarinus officinalis*, *Juniperus oxycedrus* y en los pasillos.

A partir de los valores medios obtenidos de fracción fina microagregada, se observa que el suelo bajo *Lavandula latifolia* es el que presenta mayor porcentaje, descendiendo para los suelos bajo *Brachypodium retusum*, *Santolina chamaecyparissus*, *Ulex parviflorus* y *Thymus vulgaris* con valores muy similares entre ellos, siendo bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos donde se han obtenido los porcentajes más bajos. En los suelos del grupo de los pasillos se obtienen porcentajes más elevados de fracción fina microagregada en el pasillo pedregoso que en el desnudo.

El índice de agregación relativo establecido en función de la textura particular de cada horizonte, nos indica las proporciones en que los minerales primarios (textura) se organizan formando "clusters de partículas" de mayor tamaño o unidades microestructurales, obteniéndose los valores medios más elevados en los suelos bajo *Brachypodium retusum*, seguido de los suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus* y *Santolina chamaecyparissus*, siendo bajo *Juniperus oxycedrus*, *Rosmarinus officinalis* y en los pasillos donde se observan los valores más bajos de índice de agregación relativo.

Los valores medios de densidad aparente son bajos en general, y tienden a incrementarse con gran variabilidad en los meses fríos y disminuyen en los meses cálidos (mínimos en los meses de junio y julio, y máximos en septiembre y enero), localizándose los valores más altos en los pasillos y bajo las especies *Juniperus oxycedrus*, *Thymus vulgaris* y *Cistus albidus*. Los valores intermedios de densidad aparente corresponden a los suelos bajo la especie aromática *Santolina chamaecyparissus* y bajo la especie herbácea *Brachypodium retusum*, siendo los suelos bajo las especies aromáticas *Rosmarinus officinalis* y *Lavandula latifolia* los que presentan los valores medios más bajos de densidad aparente. La mayor variabilidad se observa en el suelo del pasillo desnudo y bajo la especie aromática *Thymus vulgaris*, mientras que la menor variabilidad se obtiene en el suelo del pasillo pedregoso y bajo *Juniperus oxycedrus*.

Los máximos valores obtenidos de densidad aparente que se dan en los suelos de los pasillos corresponden con los suelos más compactados, y coinciden con valores mínimos de porosidad, haciéndose patente el efecto favorecedor de la vegetación sobre la compactación del suelo, al favorecer las raíces la formación de poros y grietas en el suelo que aumentan la porosidad y el paso de aire y solutos.

La vegetación de cobertura continua como la cubierta de *Brachypodium retusum*, favorece la disminución de la densidad aparente, así como la permanencia de la humedad en el suelo y la estabilidad de la estructura.

Las plantas aromáticas favorecen igualmente la disminución de la densidad aparente, posiblemente por el aporte de residuos vegetales que realiza un efecto protector sobre la estructura del suelo, mejorando su estabilidad y la formación de agregados de mayor tamaño.

Los valores medios anuales de porosidad presentan escasa variabilidad, y de forma generalizada, las desviaciones son muy semejantes a lo largo del año. Las especies aromáticas (*Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Santolina chamaecyparissus*) y herbáceas (*Brachypodium retusum*) proporcionan valores elevados. Mientras que los porcentajes más bajos se obtienen en pasillos y bajo las especies *Juniperus oxycedrus* y *Thymus vulgaris*. Los suelos de los pasillos sin vegetación presentan baja porosidad, disminuyendo todavía más con el aumento de la pedregosidad. Se han obtenido relaciones inversas con los valores de densidad aparente, dada la disminución de la porosidad debida a la compactación del suelo.

Temporalmente se observa la disminución de los valores medios de porosidad en los meses fríos y un aumento desde marzo hasta junio, a partir de este mes los valores vuelven a descender, siendo los meses de septiembre y enero los que presentan los valores más bajos de porosidad.

Como resumen de las propiedades químicas podemos destacar la elevada proporción de las fracciones de materia orgánica más evolucionadas, ácidos fúlvicos y huminas en suelos bajo *Santolina chamaecyparissus* y *Brachypodium retusum*, respectivamente. De igual forma, los contenidos mayores de ácidos húmicos se obtienen también bajo *Brachypodium retusum*, lo cual nos indica que se trata de un género de plantas enriquecedoras para el suelo, que aporta una cobertura vegetal bastante continua y constante en gran parte del año, con elevada evolución de la materia orgánica que bajo ella se desarrolla.

Los resultados obtenidos en los diferentes índices de composición húmica indican que el índice de polimerización se considera normal bajo la mayoría de las especies, aunque para los pasillos, *Juniperus oxycedrus* y *Santolina chamaecyparissus* descienden ligeramente de este valor, indicando que la humificación podría frenarse en las primeras etapas del proceso de transformación.

El índice de estabilidad estructural pone en evidencia un predominio de la humina, fracción húmica con mejor actividad estructurante. Y aunque los valores obtenidos en los distintos microambientes no son elevados, pero estos van acompañados de niveles correctos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Los rangos del grado de humificación son ligeramente inferiores a los valores medios normales de suelos agrícolas, indicando una cierta acumulación de materia orgánica fresca aportada por la vegetación que podría producir una deficiente evolución orgánica en estos suelos.

El contenido de materia orgánica total es elevado para todos los puntos de muestreo, manifiestándose de nuevo el contraste entre la especie *Brachypodium retusum* y algunas aromáticas frente a menores valores en los pasillos, con diferencias significativas entre estos suelos en épocas del año contrastadas (verano e invierno).

El efecto de la vegetación se hace patente en los distintos microambientes, en lo que se refiere a la relación entre la estabilidad de agregados y los diferentes niveles de materia orgánica anuales y temporales. Los cambios estacionales en la transformación de la

materia orgánica dada su mayor mineralización en la época estival, afectan directamente a este parámetro.

Respecto al resto de parámetros químicos, los contenidos medios de nitrógeno total son bajos y elevados los de fósforo asimilable. A pesar de la escasa productividad de estos suelos, hay que considerar el estado de abandono que en algunos casos se trata de 50 años, lo cual ha permitido una recuperación de sus propiedades, además de tener en cuenta la utilización ganadera actual en algunas de las parcelas estudiadas.

Los valores de CIC son elevados, lo que se corresponde con el alto contenido en materia orgánica y en algunos casos de la fracción fina de estos suelos. En el complejo de cambio el calcio es siempre el catión dominante como corresponde a suelos calizos, situándose en valores normales el resto de cationes de cambio.

Los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica, así como de carbonatos totales, muestran que se tratan de suelos básicos sin problemas de salinidad.

La recuperación del contenido de materia orgánica de los suelos del área de estudio tras el abandono de las prácticas agrícolas en zonas marginales de clima mediterráneo subhúmedo y litología calcárea, depende del tipo de cobertura vegetal que recoloniza el suelo. Comparado con el suelo desnudo, la cobertura de herbáceas de tipo *Brachypodium retusum* favorece más la acumulación de materia orgánica y la humificación de ésta que otras coberturas de tipo leñosas subarborescentes y aromáticas. No obstante, se detecta una gran variabilidad en estos dos tipos de cobertura lo que sugiere una contribución distinta de cada tipo de planta, posiblemente por la cantidad y la composición de los restos vegetales que se incorporan al suelo.

La valoración por el método químico de oxidación permite analizar el comportamiento diferencial del suelo en un gradiente de menor a mayor contenido de materia orgánica en distintas épocas del año. Este comportamiento diferencial también se ha podido constatar mediante el estudio de microscopía/RX y de IR. La cuantificación del C en cada fracción es necesaria para comprender el proceso de humificación en el suelo, y éste depende del tipo de residuos vegetales pero también del microclima del suelo y de la actividad biológica en cada microambiente edáfico.

Dentro de los artrópodos que componen la diversidad de fauna edáfica que habita en los puntos de muestreo, los individuos predominantes y más representativos son los colémbolos, seguido de ácaros oribátidos y ácaros gamásidos, siendo capturados en mayores cantidades en el horizonte superficial que en el subsuperficial. Otros artrópodos detectados en cantidades inferiores en ambos horizontes son pselafognatas, craspedosomidos, larvas de coleópteros, ácaros acarídidos, tejedores y trips, y otros individuos capturados en pequeñas cantidades son los arácnidos, chilopodas y chinches (sólo en el horizonte más superficial A₁), y dípteros y pulgones (sólo en el horizonte subsuperficial A₂).

Los colémbolos son más abundantes principalmente en suelos bajo las especies aromáticas *Lavandula latifolia*, *Thymus vulgaris* y *Rosmarinus officinalis*. En cuanto a los ácaros oribátidos, predominan en suelos bajo *Lavandula latifolia*, *Cistus albidus* y *Ulex parviflorus*, mientras que los ácaros gamásidos abundan mayoritariamente bajo *Ulex parviflorus*, *Lavandula latifolia* y *Thymus vulgaris*.

En principio, cualquier influencia externa negativa en el suelo tales como la eliminación de la vegetación o cobertura vegetal, disminución de la mesofauna por parte de los

microorganismos del suelo producida por la influencia del tipo de cobertura (plantas mejorantes de las propiedades físicas del suelo), condiciones climáticas, valores más elevados del contenido de humedad, diferencias en las temperaturas extremas, amplitud térmica, influencia de la pendiente topográfica en los distintos puntos de estudio, o incluso variación de ciertas propiedades químicas como la cantidad de carbonato cálcico que favorece la cementación de los agregados, el aumento de la conductividad eléctrica por la presencia de sales que producen dispersión de agregados, o bien el aumento de cationes bivalentes como el calcio que aumentan la agregación y producen la floculación de la estructura, etc., podrían modificar este parámetro.

En el estudio del cluster se observan dos grupos diferenciados, el primero de ellos corresponde a los microambientes con mayor cobertura en el que se incluyen en primer lugar los suelos bajo *Brachypodium retusum* y de plantas como *Lavandula latifolia*, *Ulex parviflorus*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* y *Cistus albidus*, con gran cobertura frente al grupo de suelos desnudos y cubiertos por piedras. El suelo bajo *Juniperus oxycedrus* marca el nexo de unión entre ambos tipos de ambientes.

El análisis de componentes principales muestra dos factores, el factor 1 denominado *factor indicador de la nutrición de la planta* con mayor peso sobre la varianza (40,77%) que agrupa de forma directa variables como las bases de cambio (Ca y Mg), la C.I.C, el contenido en carbonatos y humedad, además de parámetros como la arcilla, pH y agregados de tamaño >10 mm, e inversa con los contenidos de arena y limo, la conductividad eléctrica, agregados de tamaños intermedios (10-5 mm, 5-2 mm y 2-1 mm) y el contenido de sodio de cambio. El factor 2 denominado *factor orgánico* que explica el 34,34% de la varianza, agrupa de manera directa y significativa los nutrientes nitrógeno y fósforo, el contenido de materia orgánica y la fracción húmica, siendo inversa con las fracciones de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

En la cuenca de estudio de la sierra de Cocoll, la influencia de la edad de abandono de las prácticas agrícolas originan cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, en función del tiempo de abandono y la recuperación de la calidad del suelo agrícola frente a los niveles del suelo natural no cultivado. En condiciones de clima mediterráneo subhúmedo, la recuperación de la vegetación y el incremento de materia orgánica en el suelo aumenta exponencialmente con la edad de abandono de las prácticas agrícolas.

Los suelos dominantes en la zona corresponden a Luvisoles, Calcisoles, y Leptosoles en las laderas, todos ellos con elevado contenido de materia orgánica. La mayor parte de las propiedades analizadas en los perfiles de suelo siguen un modelo de variación exponencial con la edad de abandono, incrementando su calidad durante los primeros 15 años tras el abandono, y aumentando rápidamente con niveles de cobertura vegetal superiores al 25%. En estas condiciones climáticas y experimentales, la recuperación de la calidad de los suelos agrícolas a los niveles del suelo natural se produce hacia los 60-90 años del cese de las prácticas agrícolas.

Los resultados del estudio estadístico en perfiles de suelos muestra gran número de correlaciones significativas entre parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. El contenido de carbonato cálcico presenta relación con los valores de humedad (directa con la humedad en el punto de marchitez permanente e inversa con la humedad a capacidad de campo). El contenido de materia orgánica se correlaciona directamente con el agua útil, la humedad a capacidad de campo y los agregados de 5-2 mm, e inversamente con los

contenidos de arena y limo. Además el agua útil del suelo presenta relación directa con los valores de pH en agua y el contenido de magnesio de cambio, mientras que la correlación es inversa con los contenidos de arena y limo. En cuanto a los contenidos de nitrógeno y fósforo, se relacionan directamente con los valores de conductividad eléctrica, así como con el contenido en limo (en el caso del nitrógeno) y con los agregados de 5-2 mm (en el fósforo). Los valores de pH presentan además correlación directa con los agregados de menor tamaño (<1 mm), e inversa con el contenido en limo. En relación a las bases de cambio, el magnesio se relaciona indirectamente con la humedad en el punto de marchitez permanente y con el contenido en arena, sin embargo el sodio presenta correlación directa con los agregados de 5-2 mm y con los contenidos de fósforo.

Los resultados de la aplicación del modelo EuroSEM-2010 de valoración de la erosión en la cuenca de estudio, combinando los datos de infiltración y humedad del suelo para dos épocas del año distintas, muestran los valores más elevados de escorrentía superficial en la época de invierno, cuando el contenido en humedad del suelo es mayor y la capacidad de infiltración del suelo es menor.

Los polígonos que presentan mayor escorrentía en las zonas bajas de ladera se caracterizan por tener alta cohesión, menor porcentaje de rocas, textura bastante fina, humedad relativamente más alta pese a tener valores altos de infiltración, y disposición topográfica con pendientes muy bajas. En base a los resultados obtenidos podemos decir que la respuesta hidrológica está regulada fundamentalmente por los valores de infiltración y los contenidos de humedad inicial, y con menor importancia el efecto de la hidrofobia. Es decir, sólo en los casos en que los tres parámetros siguen una tendencia paralela, se pone en evidencia la importancia y conllevan diferencias significativas las variaciones del coeficiente de hidrofobia en los primeros momentos de la simulación de lluvia.

La exposición de las laderas se manifiesta como un factor importante en la pérdida de suelo dado que modifica la cobertura vegetal y las interferencias y, como consecuencia, la escorrentía superficial.

La información derivada de la aplicación del modelo EuroSEM manifiesta los puntos críticos donde se presentan fenómenos erosivos, importante para aplicar medidas paliativas, específicas según la problemática de cada zona, para prevenir y mitigar la erosión del suelo y sus efectos sobre el territorio.