

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ANTROSOLES CUMÚLICOS EN LOS INVERNADEROS DE LA COMARCA DEL PONIENTE ALMERIENSE. INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS SOBRE LOS CAMBIOS DE SUS PROPIEDADES

J.J. RAMOS MIRAS¹, C. GIL DE CARRASCO^{1*}, R. BOLUDA HERNÁNDEZ²

¹Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Almería. La Cañada de San Urbano. Almería. cgil@ual.es.

²Departament de Biología Vegetal. Universitat de València, CIDE (CSIC-UV-GV). Camí de la Marjal, s/n. 46470 ALBAL (València). boluda@uv.es.

*Correspondencia.

Abstract: Physical and chemical properties of greenhouses from western Almería soils has been studied (Cumulic Anthrosol). It was studied the influence of soil origin (autochthonous, “Cañadas” and “Greases”) and age of greenhouses (0, 1 to 9, 10 to 19 and ≥ 20 years) over the variability of soils properties, too. Results show unfavourable conditions since agricultural and environmental viewpoints, as soon as several statistically significant differences between soils because of soil origin. Results show too, a decrease of clay, Mg, Na and PSI and an increase of soil organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in soils with the age of greenhouses. This was related with agricultural practices and excess of fertilizer. So show beneficial effects over soil salinity and sodicity, because soil extract EC, exchangeable Na and ESP decrease with the age of greenhouses.

Key words: Edaphic properties, greenhouses, temporal variability, cumulic anthrosol

Resumen: Se han estudiado y caracterizado las propiedades físicas y fisico-químicas de los suelos de invernadero del Poniente Almeriense (Antrosoles cumúlicos). Asimismo, se ha estudiado la influencia del origen del suelo (autóctonos y aportados de las Cañadas y las Greases) y del tiempo dedicado al cultivo (0, 1 a 9, 10 a 19 y ≥ 20 años) sobre la variabilidad de dichas propiedades. Los resultados muestran características desfavorables desde los puntos de vista agronómico y ambiental así como la existencia de bastantes diferencias significativas según el origen del suelo del invernadero. También demuestran que conforme se incrementan los años de cultivo se produce una disminución significativa de su contenido de arcilla, Mg, Na y PSI y un aumento igualmente significativo del contenido de carbono orgánico, N total y P asimilable. Estos hechos se han asociado a las labores agrícolas y a un excesivo uso de fertilizantes, a la vez que indican un impacto beneficioso sobre los procesos de salinización y sodificación del suelo ya que la CE del extracto de saturación, el Na de cambio y el PSI muestran una disminución con el paso de los años dedicados al cultivo.

Palabras clave: propiedades edáficas, invernaderos, variabilidad temporal, Antrosoles cumúlicos.

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes minerales ha contribuido de forma decisiva a incrementar el rendimiento de los cultivos hasta el extremo de que en las últimas décadas su consumo ha aumentado extraordinariamente. Los países desarrollados son los mayores consumidores. En los últimos años se han multiplicado los estudios para determinar el efecto de la agricultura intensiva sobre los suelos y los ecosistemas. Muchas veces el uso excesivo de fertilizantes no ha redundado en un aumento considerable de la producción de las cosechas. Sin embargo, se ha relacionado con procesos de salinización y eutrofización de las aguas así como con problemas de salinidad y acumulación de nutrientes como el fósforo en el suelo (Boluda *et al.*, 2002; Higgs *et al.*, 2000; Díez, 1999). La utilización masiva de fertilizantes y fitosanitarios, con objeto de aumentar la productividad de los cultivos termina por hacer disminuir la capacidad de filtrado y amortiguación de los suelos, que no poseen una capacidad autodepuradora infinita (Porta *et al.*, 1999; Stigliani *et al.*, 1991; Felipó y Garau, 1987).

En España se consumen un total de 2.027.000 kg ha⁻¹ año de fertilizantes, de los cuales 1.125.000 corresponden a fertilizantes nitrogenados, 535.000 a fertilizantes fosfóricos y 367.000 a fertilizantes potásicos (MOPT, 1991).

En Almería, en los cultivos bajo plástico, se consumen de media unos 2.000 kg ha⁻¹ y año, llegando en algunos casos hasta los 3.400 kg ha⁻¹ y año (Ortega Gutiérrez, 2000). En esta zona, la agricultura intensiva, constituye un ejemplo de desarrollo endógeno. El auge del cultivo en invernadero en la década de los 70, impulsó el progreso económico y social de una de las áreas tradicionalmente más deprimidas de España (García Lorca 1998). La superficie invernada en la comarca del Poniente Almeriense es de 19.432 ha lo que supone el 78,5% del total provincial

(Sanjuan, 2001). Debido a la falta de fertilidad del suelo propiciada por las características de sus factores formadores, se recurrió a la generación de un sustrato (suelo artificial) constituido por materiales de naturaleza arcillosa, arena y estiércol (Antrosol cumúlico). La elevada rentabilidad de los invernaderos de Almería se ha traducido en un importante incremento de la población, la presencia de nuevas industrias y una enorme expansión de las tierras dedicadas al cultivo. Estos aspectos, en principio positivos, con el paso del tiempo han comenzado a generar problemas por los fuertes impactos que están ocasionando sobre el entorno (Gil de Carrasco y Ramos Miras, 2001). Los más preocupantes son: la sobreexplotación de acuíferos, los residuos agrícolas y el uso inadecuado y frecuentemente abusivo de fertilizantes y fitosanitarios (Pulido Bosch *et al.*, 1989-2000; Thompson *et al.*, 2002). Todo este desarrollo social y económico basado en prácticas agrícolas avanzadas y el turismo, descansa sobre la utilización agrícola de un recurso natural frágil como es el suelo. A pesar de que el suelo de los invernaderos Almerienses está sufriendo estos impactos; no existen, apenas, estudios de las características del suelo y tampoco de los posibles procesos de degradación (salinización, sodificación y/o alcalinización, o la acumulación de nutrientes minerales) asociados a la actividad agrícola (Ramos Miras 2002; Gil de Carrasco y Ramos Miras 2001).

Por todo lo anterior, resulta evidente la necesidad de estudiar las características de los suelos y su fertilidad en los invernaderos Almerienses con objeto de evaluar su estado nutricional y el posible impacto que el tiempo dedicado a la agricultura intensiva haya podido ocasionar sobre los mismos. Estos estudios permitirán ajustar o modificar las prácticas agrícolas así como ayudar a dictaminar nuevas reglamentaciones para minimizar su impacto. Así pues, los objetivos del presente trabajo fueron: el estudio del estado general de los suelos de los invernaderos del

poniente almeriense a través de la caracterización de sus propiedades físicas y fisicoquímicas esenciales para la nutrición y desarrollo de los cultivos y la evaluación de la influencia del origen del material para la generación del sustrato y del tiempo de cultivo sobre la variación de las propiedades del suelo de los invernaderos.

MATERIAL Y MÉTODOS

La comarca del Poniente se sitúa en el extremo oriental de Andalucía, en la provincia de Almería, concretamente entre las cuencas del río Adra y Andarax. Limita al N y NO con la Sierra de Gádor y al S con el Mar Mediterráneo; en la zona 30 S entre las coor-

denadas UTM longitud 53800, latitud 40750, y longitud 49900, latitud 4059 (Figura 1). Ocupa una superficie de unos 330 Km², formando una llanura costera con una pendiente suave cubierta en parte por grandes abanicos aluviales procedentes de la Sierra de Gádor. Aparece disectada por frecuentes ramblas que rara vez conducen agua y que normalmente mueren en depresiones de carácter endorreico, desapareciendo antes de alcanzar el mar. La precipitación media es escasa (212,7 mm/año) y la temperatura media anual es de 18,7° C por lo que el clima es subdesértico acentuado. El material originario es de origen calcáreo y se distinguen dos grupos, principalmente, según sean de origen marino o continental.



FIGURA 1: Localización geográfica del área de estudio en el contexto español y almeriense.

Debido a la escasa fertilidad y/o limitaciones del suelo propiciada por las características de sus factores formadores, se recurrió en la mayoría de los casos, a la generación de un sustrato (suelo artificial) constituido por un material aportado de naturaleza más o menos arcillosa, arena y estiércol que se

puede clasificar como un Antrosol cumúlico que, en adelante denominaremos suelo, debido a que la parte mineral del mismo se extrae o bien del lugar de construcción del invernadero, simplemente mediante unas labores de despedregado y nivelación posterior, o bien de canteras procedentes de zonas naturales

que se transporta a los diferentes lugares para la puesta en funcionamiento de los invernaderos constituyendo un substrato de cultivo conformado por tres estratos o capas superpuestas una de naturaleza arcillosa (de al menos 25 cm de espesor), otra de materia orgánica (3 - 8 cm) y, finalmente, una capa arenosa superficial de aproximadamente 10 cm.

Se recogieron muestras de suelo correspondientes a un total de 160 invernaderos (71 cuyos suelos son de materiales autóctonos, 71 de sedimentos de Cañadas y 18 procedentes de Greas) ubicados en los términos municipales de Roquetas de Mar, VÍcar, La Mojonera, El Ejido, Berja y Adra. En la Figura 2 se puede observar la localización de los invernaderos en los que se ha realizado el muestreo. En cada uno de los invernaderos seleccionados, se recogieron, muestras compuestas del suelo separando la capa arenosa superficial. Estas muestras de suelo se toma-

ron de los 15 - 20 cm superficiales de la capa arcillosa. Las muestras compuestas (2 - 2,5 kg) se obtuvieron a partir de la mezcla, homogeneización y cuarteo de tres diferentes submuestras recogidas al azar en diferentes puntos del invernadero y dentro del ámbito de influencia de los goteros. De forma simultánea a la recogida de las muestras, se realizó una pequeña encuesta a los agricultores, en la que se solicitó información sobre diversos aspectos del invernadero (cultivos habituales, la incidencia de plagas y enfermedades etc.) centrándose principalmente en el origen del suelo y la antigüedad del cultivo en cada uno de los invernaderos muestreados. Asimismo se tomaron 16 muestras procedentes de los suelos sin cultivar y sedimentos de las canteras de las cuales se extrajeron la mayoría de los materiales para la construcción de los suelos en los invernaderos, estas muestras se consideraron suelos controles o naturales.

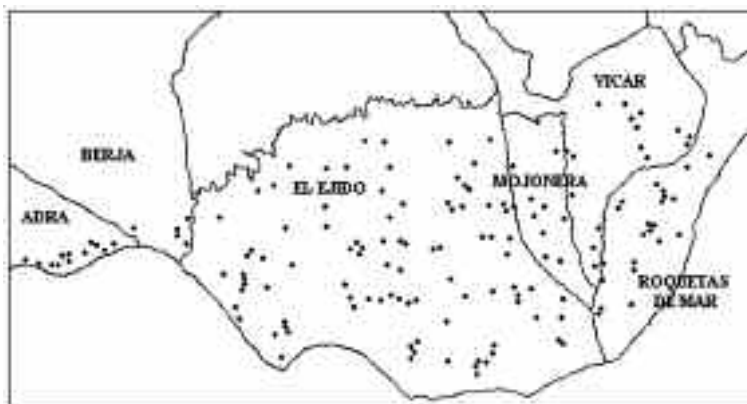


FIGURA 2: Distribución de los diferentes suelos de invernaderos muestreados en el presente trabajo dentro del entorno comarcal del Poniente almeriense.

Una vez en el laboratorio las muestras compuestas se dividieron en submuestras para su posterior preparación, diferentes según las determinaciones analíticas previstas para cada una de ellas. Las muestras se secaron al aire, se seleccionaron algunos

agregados para el estudio de propiedades físicas, se molturaron y se tamizaron a 2 mm. Se pesaron las fracciones resultantes. Parte de la muestra fue sometida a molienda fina en mortero de ágata y tamizado a 0,05 mm, para la determinación del carbono orgánico, fósfo-

ro asimilable y carbonato cálcico equivalente. Se introdujeron en bolsas de polietileno que fueron catalogadas y almacenadas a temperatura ambiente hasta el momento de ser analizadas. Se determinó la humedad de la fracción tierra fina por gravimetría con el fin de ajustar a peso seco el resultado de las demás determinaciones analíticas.

Para la determinación de los porcentajes correspondientes a las distintas fracciones minerales se trataron las muestras con agua oxigenada de 110 volúmenes. Posteriormente, para su dispersión se le añadió hexametáfosfato sódico y se trató durante ocho horas en un agitador rotatorio de botellas. La fracción arena total se separó por tamizado en húmedo y posterior separación en subfracciones por tamizado mecánico en seco. La arcilla y el limo se separaron por sedimentación y se siguió el método de la pipeta de Robinson, tal como se describe en el Soil Survey Report, núm. 1 (Soil Conservation Service, 1972). Para el cálculo de la densidad aparente se ha empleado la ecuación de regresión múltiple obtenida por Santos (1979). Las determinaciones de retención de agua (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) se realizaron utilizando el método de la membrana de Richards (Richards, 1947-54; Richards y Weaver, 1944).

El pH se determinó sobre una suspensión de tierra fina en agua en relación 1:1. Posteriormente se efectuó otra medida con KCl 0,1 N en la misma proporción (Hayward *et al.*, 1973). Las medidas se realizaron con un pH-metro Crison micropH 2001 con electrodo de vidrio.

La determinación del carbono orgánico se realizó mediante oxidación con dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido (método de oxidación en húmedo), valorando el exceso de ión cromo (Cr^{3+}) con sal de Mohr (sulfato ferroso amónico) (método de Tyurin, 1951, descrito por Kononova, 1982). La determinación del nitrógeno total se realizó

según el método clásico de Kjeldahl, en un bloque digestor Selecta Bloc digest 12. La destilación del mineralizado y la recogida del NH_3 destilado sobre ácido bórico se realizaron de forma simultánea en un aparato de destilación Buchi Distillation Unit B-316 (Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, 1994). A partir de los datos de carbono orgánico y nitrógeno total se obtuvo la relación C/N.

La determinación de las bases de cambio se realizó por lixiviación con acetato amónico (1 N y pH = 7); en el lixiviado se determinaron las bases de cambio: sodio y potasio por fotometría de llama y calcio y magnesio por espectroscopía de absorción atómica en llama (Soil Conservation Service, 1972). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinó posteriormente lavando con alcohol y saturando el complejo de cambio con sodio por lixiviación con acetato sódico 1 N a pH = 8,2, lavado con alcohol y desplazamiento del sodio del complejo de cambio con acetato amónico 1 N a pH = 7 y, finalmente, valoración del sodio en el lixiviado por fotometría de llama (Richards, 1954). Las medidas se realizaron en un fotómetro de llama Gallenkamp y en un espectrofotómetro de absorción atómica GBC 906AA respectivamente. A partir del sodio de cambio y de la CIC se estimó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

El fósforo asimilable se determinó mediante el método Olsen, según lo descrito en los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura (1994). La determinación del potasio asimilable se realizó mediante una extracción del suelo con acetato amónico y posterior medida por fotometría de llama según lo indicado en los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura (1994). La determinación de carbonatos se realizó por volumetría de gases mediante el procedimiento descrito por Barahona (1984); la corrección de presión y

temperatura se realizó con ayuda de carbonato cálcico puro.

La salinidad se determinó realizando la pasta saturada y midiendo la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE) con un conductímetro Crison-520 (Richards 1954).

A partir de la información obtenida en las encuestas realizadas a los agricultores (Ramos Miras 2002) y con objeto de evaluar la influencia del origen del suelo de los invernaderos sobre la variabilidad de sus propiedades, se agruparon en tres clases principales: Clase 1, suelos Autóctonos (71 invernaderos); Clase 2, suelos aportados procedentes de materiales de Cañadas (71 invernaderos); y Clase 3, suelos aportados procedentes de Greas (18 invernaderos). Es necesario destacar que los suelos de los invernaderos procedentes de las Cañadas junto con los Autóctonos son los más representativos y los más antiguamente cultivados, asimismo presentan un origen continental, mientras las Greas, sedimentos margosos (arcillo-arenosos), presentan un origen marino. Por este motivo, y con el fin de evaluar la influencia del tiempo de cultivo en los invernaderos sobre la variabilidad de las propiedades del suelo en un grupo lo más homogéneo posible, se agruparon los invernaderos cuyos suelos procedían de las Cañadas en cuatro nuevas clases según la antigüedad del cultivo en cada uno de los invernaderos: Clase 0, suelos controles o naturales de Cañadas (13 muestras); Clase 1, menos de 10 años de antigüedad (28 invernaderos); Clase 2, de 10 a 19 años de antigüedad (26 invernaderos) y Clase 3, igual o más de 20 años de antigüedad (17 invernaderos). Esta información también se obtuvo de las encuestas realizadas a los agricultores (Ramos Miras op. cit.).

El tratamiento estadístico se realizó con el paquete de software STARGRAPHICS 4.0. Se recurrió a un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando, tal como se ha indicado anteriormente, la procedencia del material

y el tiempo de cultivo del suelo en cada uno de los invernaderos como criterios de agrupación para las variables edáficas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se recogen los valores medios y extremos obtenidos para los parámetros físicos y físico-químicos analizados en los suelos de los invernaderos del Poniente Almeriense. En ella se observa, en general, que los suelos cultivados en los invernaderos almerienses presentan una textura media equilibrada, franca a franco-arcillosa predominante, siendo la arena la fracción granulométrica mayoritaria (39,6%), seguida por el limo (33,9 %) y finalmente por la fracción arcilla (26,5%). Dentro de la fracción gruesa, la arena media, fina y muy fina son los componentes mayoritarios (Tabla 1). Estas características texturales se reflejan en los altos valores obtenidos para la densidad aparente de los suelos con una media de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, así como en una baja capacidad de retención de agua disponible (9.8 %).

Son suelos de reacción ligeramente básica a básica ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 7,7$ $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,3$), ricos en carbonato cálcico equivalente (27,2 %) y en consecuencia saturados en bases (100 %). Su contenido medio en carbono orgánico (0,6 %) y nitrógeno total (0,09 %) resultan bajos. Estos bajos valores se explican por el uso intensivo del suelo y el abandono o desaparición progresiva de una práctica tan habitual en la zona y tan beneficiosa como es la denominada de “retranqueo”; es decir, la aportación cada cuatro años aproximadamente de un manto continuo de materia orgánica (estiércol) entre la capa arenosa y la capa arcillosa.

Presentan una baja capacidad de intercambio catiónico, con valores medios entorno a $8,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, y que contrastan con su riqueza en arcilla; no obstante, estos valores están de acuerdo con sus bajos contenidos de carbono orgánico y, especialmente, con la

TABAL 1. Resumen de las propiedades físicas y físico-químicas estudiadas en los suelos de invernadero analizados.

	Mínimo	Media	Máximo	Desv. Std.	Coef. Var.
Gravas (%)	0,1	10,5	56,3	10,4	98,4
Arcilla (%)	5,0	26,5	57,1	10,4	39,2
Limos (%)	6,7	33,9	63,6	12,8	37,6
Arenas (%)	4,4	39,6	75,8	18,2	45,8
Arena muy gruesa (%)	0,1	4,5	23,1	4,4	97,3
Arena gruesa (%)	0,1	5,5	27,4	4,6	83,7
Arena media (%)	0,2	9,3	40,2	7,8	83,6
Arena fina (%)	0,9	10,3	36,6	6,6	63,8
Arena muy fina (%)	0,9	10,0	39,8	7,9	79,3
DA (g cm ⁻³)	1,3	1,5	1,6	0,1	4,1
Carbono Orgánico (%)	0,1	0,6	1,7	0,3	45,9
Nitrógeno Total (%)	0,02	0,09	0,21	0,04	44,4
Relación C/N	2,0	7,0	14,2	2,3	32,4
Ca ²⁺ de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	4,9	Sat.	Sat.	8,9	32,1
Mg ²⁺ de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	1,2	3,6	9,2	1,5	40,4
Na ⁺ de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	0,1	0,9	3,3	0,5	55,9
K ⁺ de cambio (cmol _c kg ⁻¹)	0,1	0,9	4,6	0,7	76,3
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	3,2	8,2	15,5	2,8	34,5
PSI (%)	1,0	11,0	22,0	4,6	41,8
pH en H ₂ O	6,9	8,3	9,1	0,3	3,6
pH en KCl	6,3	7,7	8,3	0,3	3,6
CE (dS m ⁻¹)	0,6	2,0	9,8	1,3	64,0
Agua Util (%)	5,2	9,8	15,4	4,8	26,6
P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	1,4	22,7	131,8	16,5	36,0
K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	2,4	43,7	217,6	33,8	49,6
CaCO ₃ (%)	0,1	27,2	65,0	16,2	72,5

composición mineralógica de sus arcillas, que según Guzmán *et al.* (1991), son de naturaleza illítica predominante. En cuanto a las bases de cambio el Ca²⁺ es, con diferencia, el catión mayoritario, seguido por el Mg²⁺ (3,6 cmol_c kg⁻¹) y contenidos equivalentes en K⁺ y Na⁺, ambos con valores de 0,9 cmol_c kg⁻¹. Este orden de los cationes de cambio es lógico en suelos calcáreos y su concentración se puede considerar normal o adecuada para los cultivos hortícolas en el caso del Ca²⁺ y Mg²⁺, mientras que en el caso del K⁺ y Na⁺ resulta algo elevada.

En general, los suelos presentan una baja salinidad que se refleja en el reducido valor medio encontrado para la conductividad eléctrica (CE = 2 dS m⁻¹). Por el contrario, los

valores medios obtenidos para el PSI (11 %) resultan bastante elevados y llegan a superar el nivel del 15% en buena parte de los invernaderos. Los bajos valores de salinidad resultan algo sorprendentes considerando el desmesurado volumen de fertilizantes minerales que se aportan a sus cultivos (Tabla 2) y a las limitaciones del sistema de riego (goteo) para el lavado de los suelos.

Los contenidos medios de potasio asimilable (44 mg K₂O 100 g⁻¹ de suelo) y fósforo asimilable (23 mg P₂O₅ 100g⁻¹ de suelo) encontrados en los suelos resultan elevados a muy elevados respectivamente comparándolos con los que se consideran como normales o adecuados para este tipo de cultivo y en suelos de similar textura (López Ritas y López Melida

1985). Este hecho sólo se puede explicar relacionándolo con una acumulación de nutrientes debida a un desmesurado volumen de aporte mineral a los cultivos en estos invernaderos (Tabla 2) y coadyuvado además por la baja solubilidad de alguno de ellos (caso del P, Higgs *et al.*, 2000) propiciada por el pH y el contenido de carbonato cálcico.

En la Tabla 1 también se observa que, a excepción de la DA y el pH, las propiedades de los suelos presentan una gran variabilidad que está más acentuada para gravas, arenas, potasio de cambio, conductividad eléctrica y carbonato cálcico.

TABLA 2. Volumen de las aportaciones anuales de fertilizantes minerales habituales en los invernaderos almerienses. Síntesis elaborada a partir de los datos e información proporcionada por Ortega Gutierrez técnico de la coop. Agrícola Santa María del Aguila.

FERTILIZANTE (kg ha ⁻¹)	Calabacín	Melón	Pepino ¹	Sandía	Pimiento	Pepino	Tomate ²
Nitrato Potásico	680	652	652	870	870	1.086	1.520
Ácido Fosfórico	260	300	300	400	300	360	400
Sulfato magnésico	100	150	174	150	200	200	374
Nitrato de Cal	280	166	332	122	440	800	440
Nitrato Amónico	120	240	150	94	400	716	630
Microelementos	10	10	8	10	12	10	18
TOTAL (kg ha ⁻¹)	1.450	1.518	1.616	1.646	2.222	3.172	3.382

¹: Pepino holandés

²: Tomate ciclo largo

Los resultados hasta aquí expuestos indican que los suelos cultivados en los invernaderos almerienses presentan una moderada a baja permeabilidad y sugieren la posible existencia de limitaciones para la aireación y drenaje en algunos de ellos. Se ha observado una acumulación importante de nutrientes como potasio y fósforo. Además, son suelos muy pobres en carbono orgánico y de débil capacidad de intercambio catiónico debido a la naturaleza del material de origen y al sistema agrícola empleado. Este sistema llevará consigo una rápida mineralización de la materia orgánica ya que los suelos están sometidos a una elevada humedad y temperatura y al aporte de enmiendas orgánicas o húmicas de naturaleza diversa (granulados sólidos, preparados líquidos aportados con el riego, etc.).

El mantenimiento y mejora de estas propiedades es fundamental para favorecer una capacidad de retención de nutrientes apropiada

da y un buen poder de filtrado (Porta *et al.*, 1999; Felipó y Garau, 1987) tan importantes desde el punto de vista agronómico como ambiental. En este sentido, la recuperación de la práctica de “retranqueo” en este agroecosistema se considera un buen principio para mejorar la calidad global del suelo de los invernaderos almeriense, así como para reducir la excesiva utilización de fertilizantes inorgánicos y la acumulación de nutrientes como P y K y de elementos como el Na.

Variación de las características de los suelos en función de su naturaleza u origen

El resultado del análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar la influencia del material de origen sobre la variabilidad de las propiedades del suelo se muestra en la Tabla 3. Se consideraron tres grupos de suelos en función de su origen: Clase 1: Autóctonos, Clase 2: Cañadas y Clase 3: Greas

Los grupos de suelos considerados difieren fundamentalmente en la textura. Se observa que los suelos de la Clase 2 (Cañadas) son los más arcillosos (32,55 %) seguidos de la Clase 1 (Autóctonos) y la Clase 3 (Greas), mientras que estos últimos presentan los niveles más altos de limos (40,01 %) seguidos de los suelos de la Clase 2 y de los suelos de Clase 1 (28,73 %). Se observa igualmente que los suelos de la Clase 2 y los de la Clase 1 presentan una CIC similar, mientras que los de la Clase 3 muestran un valor sensiblemente inferior. Como ya se ha indicado se confirma que todos los suelos investigados presentan un pH similar y están

saturados en bases. También se observa que los suelos preparados con materiales sedimentarios conocidos como Greas presentan los valores medios más elevados de PSI y CE (13,4 % y 2,50 dS m⁻¹) y un contenido de carbono orgánico semejante a los de la Clase 1 y 2. Esto se puede explicar porque los materiales de las Greas son sedimentos calcáreos de origen marino, a diferencia del origen continental de los sedimentos Autóctonos y de las Cañadas. En cuanto a los nutrientes, la Clase 2 presenta el mayor contenido de Mg²⁺, Na⁺, K⁺ y P mientras que la Clase 3 posee los contenidos más bajos.

TABLA 3. Análisis de la varianza de las principales propiedades físicas y físico-químicas de los suelos agrupadas según el origen del material empleado para la construcción del suelo del invernadero (Clase 1: Autóctonos, Clase 2: Cañadas; Clase 3: Greas). Esta información se obtuvo a partir de encuestas realizadas a los agricultores.

	Análisis de medias (test de rango múltiple. método LSD)			ANOVA		
	Clase 1* 71 suelos	Clase 2* 71 suelos	Clase 3* 18 suelos	F-ratio	P-value	Grupos con diferencias significativas superiores al 95% del nivel de confianza
Gravas (%)	14,02	8,89	3,33	10,33	0,0001	(1-2) (1-3) (2-3)
Arcilla (%)	23,78	32,55	16,39	26,32	0,0000	(1-2) (1-3) (2-3)
Limos (%)	28,73	36,79	40,01	12,23	0,0000	(1-3) (1-3)
Arenas (%)	47,49	30,92	43,60	19,05	0,0000	(1-3) (1-3)
DA (g cm ⁻³)	1,48	1,45	1,51	12,66	0,0000	(1-2) (1-3) (2-3)
CO (%)	0,68	0,60	0,52	2,52	0,0833	(1-3)
N (%)	0,10	0,08	0,07	4,91	0,0086	(1-3) (2-3)
Relación C/N	7,09	6,75	7,05	0,10	0,9054	—
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	24,14	30,23	32,29	12,77	0,0000	(1-2) (1-3)
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	3,53	4,02	2,57	6,80	0,0015	(1-3) (2-3)
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,78	1,19	0,76	11,06	0,0000	(1-2) (2-3)
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,79	1,05	0,69	5,14	0,0069	(1-2) (2-3)
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	8,65	8,82	5,96	4,62	0,0113	(1-3) (2-3)
PSI (%)	9,41	12,99	13,43	9,71	0,0001	(1-2) (1-3)
pH _{H2O}	8,22	8,05	8,20	2,31	0,1030	—
CE ₂₅ (dS m ⁻¹)	1,85	1,88	2,50	4,96	0,0082	(1-2)(1-3)
P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	21,10	22,95	18,92	1,73	0,1810	—
K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	37,18	49,26	32,56	5,33	0,0057	(1-2) (2-3)
CaCO ₃ (%)	23,48	30,58	24,94	4,85	0,0090	(1-2)

(*)Origen suelo: Clase 1= suelos Autóctonos; Clase 2 = suelos procedentes de Cañadas; Clase 3 = suelos originarios de Greas

Así pues, se deduce claramente que si bien los suelos procedentes de las Cañadas y los Autóctonos son los que presentan unas características físico-químicas más parecidas, los suelos de los tres grupos difieren significativamente en sus propiedades, indicando que estas diferencias son debidas a la naturaleza u origen del suelo del invernadero. No obstante, el hecho de que en los suelos de los invernaderos de la Clase 2 (Cañadas) la textura sea más fina, la CIC sea más elevada y se acumulen sodio, potasio y fósforo así como que en los suelos de los invernaderos de la Clase 3 (Greas) sé de la mayor salinidad y sodicidad, sugiere la existencia de mecanismos exógenos directos de acumulación de nutrientes.

Variabilidad en las características de los suelos en función de la antigüedad del cultivo en los invernaderos

Generalmente, ha sido reconocido el impacto negativo que la agricultura provoca sobre los suelos. No obstante, también es cierto que se sabe poco todavía acerca de la influencia que largos periodos de cultivo provocan sobre las propiedades o características del suelo. Algunos trabajos como los de Gil de Carrasco y Ramos Miras (2002), Klimowicz y Uziak (2001) y Guzmán *et al.* (1991) inciden en esta problemática.

Con este mismo fin, en el presente trabajo se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) respecto a la evolución temporal de las características edáficas en los suelos de los invernaderos procedentes de los sedimentos de las Cañadas. De nuevo, es conveniente señalar que dada la inexistencia de antecedentes y estudios sobre este tema en los suelos de los invernaderos del Poniente Almeriense, para la realización de este análisis la única posibilidad ha sido agrupar los suelos en función de su antigüedad de cultivo a través de las encuestas realizadas a los agricultores en el momento en que se llevó a cabo el muestreo (Ramos Miras, 2002).

Considerando que la heterogénea naturaleza de los materiales de los suelos, anteriormente demostrada, podía influir en los resultados, se estimó conveniente restringir este análisis únicamente a los suelos de los invernaderos procedentes de los sedimentos aportados de las Cañadas ya que son los más representativos y muchos de ellos los de mayor antigüedad en el cultivo, asimismo disponíamos de muestras de sedimentos recogidas en las mismas canteras de las cuales se extrajeron los materiales para la construcción de los suelos de invernadero. Se utilizó como criterio de agrupación los años de cultivo según se ha descrito en el apartado de material y métodos. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

En esta tabla se puede observar que conforme se incrementa la antigüedad del cultivo en los invernaderos, las fracciones de arcilla y limo de los suelos sufren una disminución progresiva, observándose diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de suelos control o naturales (Clase 0) y los que poseen más años dedicados al cultivo (Clases 1, 2 y 3). Este mismo patrón de comportamiento lo siguen propiedades como Mg^{2+} y Na^+ de cambio y el PSI.

En la Tabla 4 también se observa un aumento del contenido de carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N al incrementarse los años de cultivo, con diferencias que son estadísticamente significativas entre los suelos con más años dedicados al cultivo en invernadero (Clases 2 y 3) y los suelos controles o naturales (Clase 0). Este mismo patrón de comportamiento se ha obtenido muy claramente para el contenido de fósforo asimilable.

Al mismo tiempo, también se observa una tendencia al aumento con los años de cultivo del contenido de la fracción arena, del K cambiante, del K asimilable, de la CIC y del carbonato cálcico así como una disminución con el tiempo de la capacidad de retención de agua disponible y de la CE. Como era lógico

TABLA 4. Análisis de la varianza de las principales propiedades físicas y físico-químicas de los suelos cuyo material procedía de Cañadas agrupados según los años de cultivo del invernadero. Clase 0: suelos control, Clase 1: suelos de menos de 10 años, Clase 2: suelos de 10 a 19 años y Clase 3: suelos con 20 años o más de cultivo. Esta información se obtuvo a partir de encuestas realizadas a los agricultores.

	Análisis de medias (test de rango múltiple. método LSD)				ANOVA		
	Clase 0* 13 suelos	Clase 1* 28 suelos	Clase 2* 26 suelos	Clase 3* 17 suelos	F-ratio*	P-value*	Grupos con diferencias significativas superiores al 95% del nivel de confianza
Arcilla (%)	44,74	34,53	31,12	30,64	4,83	0,0042	(0-1) (0-2) (0-3)
Limos (%)	20,16	45,96	36,01	34,03	3,56	0,0185	(0-1) (0-2)
Arenas (%)	24,36	27,61	29,82	32,80	0,62	0,6039	—
CO (%)	0,21	0,49	0,62	0,75	5,27	0,0024	(0-2) (0-3) (1-3)
N (%)	0,06	0,08	0,08	0,10	4,53	0,0059	(0-3) (1-3) (2-3)
Relación C/N	3,65	6,36	7,20	7,41	4,00	0,0108	(0-1) (0-2) (0-3)
Ca ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	28,19	31,06	29,94	28,15	0,77	0,5119	—
Mg ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	5,69	3,76	4,11	3,50	2,52	0,0646	(0-1) (0-2) (0-3)
Na ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	2,00	1,26	1,09	0,98	6,85	0,0004	(0-1) (0-2) (0-3)
K ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,44	0,92	1,10	1,11	1,38	0,2549	—
CIC (cmol _c .kg ⁻¹)	8,02	8,37	9,09	9,29	0,53	0,6658	—
PSI (%)	19,54	13,62	12,19	11,14	5,18	0,0027	(0-1) (0-2) (0-3)
PH _{H2O}	8,60	8,02	8,13	7,97	1,75	0,1812	—
CE ₂₅ (dS m ⁻¹)	2,23	1,94	1,75	1,90	0,60	0,6148	—
P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	7,86	21,58	23,68	27,68	3,38	0,0226	(0-1) (0-2) (0-3)
K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	20,49	49,06	51,65	52,13	0,99	0,4007	—
CaCO ₃ (%)	21,23	31,66	32,22	37,33	0,08	0,9703	—

(*) Antigüedad cultivo: Clase 0 = Sedimentos recogidos en las cañadas; Clase 1= suelos de cañada con menos de 10 años de cultivo en los invernaderos; Clase 2 = suelos de entre 10 y 19 años de cultivo; Clase 3 = suelos con 20 o más años de cultivo en los invernaderos.

esperar la concentración de Ca cambiante no muestra ninguna tendencia.

Todos estos cambios que parecen haber experimentado las características físicas y químicas de los Antrosoles cumúlicos del Poniente Almeriense por causa del tiempo dedicado al cultivo, resultan relativamente fáciles de explicar. En efecto, la disminución del contenido de arcilla y de limo de forma paralela al incremento de la arena, estará relacionada con las labores agrícolas en los invernaderos: pisoteo continuado del suelo, laboreo y, especialmente, a la desaparición paulatina de las labores de retranqueo, desplazado por la aplicación puntual de enmiendas orgánicas (sólidas y/o líquidas) y que han favorecido la mezcla progresiva de la capa

arenosa superficial y la capa arcillosa subsuperficial, que conforman el suelo típico de estos invernaderos.

Los incrementos del contenido de carbono orgánico, nitrógeno total, potasio y especialmente el fósforo asimilable son fácilmente asociados al aporte continuado año tras año de enmiendas orgánicas y de fertilizantes. En lo que se refiere a la CIC, ese ligero incremento que experimenta con los años se explica por el incremento paralelo que sufre el contenido de MO, al igual que ocurre con el contenido en N total, probablemente como consecuencia de la estabilización progresiva de la MO favorecida por la riqueza en carbonatos de los suelos.

La disminución observada con los años de cultivo para los valores del PSI y del Na cambiante, junto a la tendencia a disminuir de la CE resultan difíciles de justificar, teniendo en cuenta el elevado aporte de agroquímicos a los suelos de invernadero (Tabla 2), aunque se pueden explicar relacionándolos con las prácticas agrícolas que favorecen su disminución y, asimismo, los elevados valores encontrados en los suelos control podrían indicar que se trata de un rasgo heredado del material original (Tabla 4).

Los resultados obtenidos tras este análisis ponen de manifiesto la existencia de diferencias estadísticamente significativas para la mayor parte de las variables edáficas entre las cuatro clases temporales de los invernaderos. Estas diferencias indican, con suficiente claridad, que las características de los suelos experimentan cambios importantes paralelamente al incremento de los años de cultivo en los invernaderos. Cambios, que por otra parte, solo pueden relacionarse con la intensidad de cultivo y/o la agresividad de las prácticas culturales habituales en el manejo del suelo de los invernaderos del Poniente Almeriense. Unos, como el caso de la disminución del contenido de arcilla, de la capacidad de retención de agua disponible y del Mg^{2+} de cambio así como la acumulación de nutrientes como el P son, indudablemente, perjudiciales y deben ser evitados. Otros, como el aumento del carbono orgánico, de la CIC y del K así como la disminución de la CE, del Na de cambio y del PSI se pueden considerar, en cambio, beneficiosos. La disminución con el tiempo de cultivo de estos tres últimos parámetros es de gran interés y debería ser objeto de una investigación posterior más detallada.

CONCLUSIONES

Los suelos cultivados en los invernaderos del Poniente Almeriense poseen una influencia antrópica acentuada por lo que se

clasifican como Antrosoles cumúlicos. A partir de encuestas realizadas a los agricultores, se han establecido tres grupos de invernaderos según el origen del suelo: Autóctonos, Cañada y Greas. Se caracterizan por presentar una textura franca a franco-arcillosa, son suelos ricos en carbonatos, saturados en bases, de reacción ligeramente básica a básica. Tienen unos contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno muy bajos. Como consecuencia poseen una baja capacidad de intercambio catiónico. Presentan una baja salinidad, mientras que el PSI resulta algo elevado. Los contenidos medios de potasio y fósforo asimilables son generalmente elevados. Estas características, en conjunto, determinan unas propiedades físicas y fisico-químicas poco adecuadas, tanto desde el punto de vista agronómico como desde el punto de vista ambiental.

Se ha estudiado la influencia del origen del suelo del invernadero sobre la variabilidad de las propiedades edáficas mediante un análisis estadístico (ANOVA) agrupando los invernaderos según su origen. Los resultados muestran la existencia de bastantes diferencias significativas entre los tres grupos. Así, los suelos de Cañada y Autóctonos son más arcillosos, más ricos en carbono orgánico y nitrógeno que los procedentes de Greas; presentando, además, mayores contenidos en arena, potasio y fósforo asimilable. Las Greas también presentan los niveles más elevados de salinidad y sodicidad debido a su origen marino.

También se ha estudiado la influencia que el tiempo dedicado al cultivo del invernadero ha provocado sobre las propiedades del suelo originado con sedimentos extraídos de las Cañadas. Este estudio demuestra que conforme se incrementan los años de cultivo se produce una disminución significativa de su contenido de arcilla, limo, Mg^{2+} , Na^+ y PSI así como un aumento también significativo del contenido de carbono orgánico, N total y P asimilable. Estos hechos se han aso-

ciado a las labores agrícolas indicando la acumulación en el suelo de nutrientes como el P debida a la excesiva utilización de fertilizantes y sugiere que puede haber una contaminación exógena directa de otros elementos poco solubles. También indican un impacto beneficioso sobre los procesos de salinización y sodificación ya que la salinidad sólo afecta a un 3% de los suelos de invernadero y la CE del extracto de saturación, el Na de cambio y el PSI presentan una disminución significativa con el paso de los años dedicados al cultivo. No obstante, estos resultados deben confirmarse con posteriores estudios acerca de las características de la solución del suelo y de la calidad de las aguas subterráneas de la zona.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo ponen de manifiesto que el mantenimiento y la mejora de las propiedades edáficas de los suelos de los invernaderos de Almería es fundamental para favorecer una capacidad de retención de nutrientes apropiada y un buen poder de filtrado, tan importantes desde el punto de vista agronómico como ambiental. En este sentido, la recuperación de la práctica de “retranqueo” en este agroecosistema se considera un buen principio para mejorar la calidad global de estos suelos, así como para reducir la excesiva utilización de fertilizantes inorgánicos y minimizar el aumento de la acumulación temporal de elementos que pueden llegar a ser perjudiciales como el fósforo y el sodio.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación recibida de la FIAPA. Asimismo los autores agradecen a D. Mario Ortega Gutierrez, técnico de la cooperativa Santa María del Águila (El Ejido), su colaboración y ayuda.

REFERENCIAS

- Barahona E. (1984). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos IV. Determinación de carbonatos totales y caliza activa (Grupo de trabajo normalizado de métodos analíticos). En actas del congreso nacional de la ciencia del suelo. Madrid, I:53-67.
- Boluda, R., Quintanilla, J. F., Bonilla, J. A., Sáez, E., Gamón, M. (2002): Application of the Microtox test and pollution indices to the study of water toxicity in the Albufera Natural Park (Valencia, Spain). *Chemosphere*. 46, 355-369.
- Díez, J. A. (1999): Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestra y elección del tipo de fertilizante. *Edafología*. 6, 73-84.
- Felipó M. T. y Garau M. A. (1987) La contaminación del sòl. Procés de degradació del medi edàfic i de l'entorn. Quaderns d'Ecologia Aplicada. Nº 12. Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient.
- García Lorca A. (1998). El modelo de la Agricultura Almeriense. 26 pp. En Desarrollo de una agricultura sostenible en el Medio y Bajo Almanzora. Junta de Andalucía. Sevilla
- Gil de Carrasco, C. y Ramos Miras, J. J. (2001): Repercusiones de la horticultura intensiva sobre las características y calidad de los suelos cultivados en los suelos de los invernaderos del poniente almeriense. Agricultura, Agua y Sostenibilidad en la provincia de Almería (ISBN:84-607-4163-X): Ed. Poseidonia y Junta de Andalucía. pp. 79-98.
- Guzmán, M.; Gil de Carrasco, C. y Romero Monreal, L. (1991) Factors affecting critical nutrient concentration in plants and their evaluation in greenhouses of the mediterranean area. *Internat. Journ. of Experimental Botany*, 52 (2):125-139.

- Hayward E.W., Piper C.S. y Jakson R.K. (1973). *Soils and Plant analysis*, Interscience Publishers, New York.
- Higgs, B., Johnson, A. E., Salter, J. L., Dawson, C. J. (2000): Some aspects of achieving sustainable phosphorus use in agriculture. *J. Environ. Qual.* 29, 80-87.
- Klimowicz Z. y Uziak S.(2001). The influence of long-term cultivation on soil properties and patterns in an undulating terrain in Poland. *Catena* 43:177-189
- Kononova M.M. (1982) *Materia orgánica en el suelo*. Oikos-Tau. Barcelona 365 pp.
- Ortega Gutierrez, M. (2000): Comunicación personal. Técnico de la Cooperativa Sta. María del Águila de El Ejido (Almería).
- López Ritas J. y López Melida J. (1985). El diagnóstico de suelos y plantas: Métodos de campo y laboratorio. 4ª edición rev. y amp. Ed.Mundi-Prensa. Madrid.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA) (1994). *Métodos Oficiales de Análisis Tomo III*. Serv. Public. MAPA. Madrid.
- Ministerio de Obras Publicas y Turismo (MOPT). (1991). *Medio Ambiente en España 1990*. Madrid.
- Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundiprensa, Madrid.
- Pulido Bosch A., Navarrete F., Molina L. y Martínez Vidal J.L. (1989). Caracterización hidrogeoquímica del campo de Dalías. IARA-Dpto. Analítica y Geodinámica de la Universidad de Almería. 285 pp.
- Pulido Bosch A., Sensi S., Molina L., Vallejos A., Calaforra J.M. y Pulido Lebouf P. (2000). Nitrates as indicators of acuífer interconnection. Application to the Campo Dalías (SE-Spain). *Environmetal Geology* 39(7):791-799.
- Ramos Miras J.J.(2002). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química de los suelos de invernadero del poniente almeriense. Tesis doctoral. Universidad de Almería.
- Richards L.A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. United States Salinity Laboratory Staff. Agriculture Handbook, N° 60, U.S. Dept. agric. Washington.
- Richards L.A. (1947). *Pressure-Membrane apparatus, construction and use*. Agric. Engin. 28:451-454.
- Richards L.A. y Weaver L.R. (1944). Moisture retention by some irrigated soils-moisture tension. *Jour. Agr. Res.* 69:215-235.
- Sanjuan Estrada J.F. (2001). Análisis de la evolución de la superficie invernada en la provincia de Almería mediante Teledetección de imágenes hemático Mapper (TM) del satélite Landsat, desde la campaña 1984/1985 hasta la campaña 1999/2000. Ed. Isabel María Cuadrado Gomez. pp:45.
- Santos F. (1979). Estudio geológico y edafológico del sector Montiel-Alcaraz-Bienservida. Tesis Doctoral. Univ. Granada.
- Soil Conservation Service. (1972). *Soil Survey manual*. Dept. Agric. De los EUA. Washington.
- Stigliani W.M., Doelman P., Salomons W., Schulin R., Smith G.R.B. y Van der Zee S. (1991). Chemical Time Bombs. *Environment* 33(4): 5-28 (7 pp).
- Thompson R.B., Gallardo M. y Jimenez C. (2002). Assesing risk nitrate leaching from the horticultural industry of Almeria, Spain. *Acta Horticulturae* 571, 243-245.