

EVALUACIÓN DE LA RETRACCIÓN EN SUELOS VOLCÁNICOS CULTIVADOS Y SU RELACIÓN CON ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS

S. Armas Espinel¹, J. M. Hernández Moreno¹ y C. M. Regalado²

¹ Universidad La Laguna, Dpto. Edafología y Geología, Ave. F. Sánchez, s/n, 38204 La Laguna Tenerife, España; jhmoreno@ull.es

² Instituto Canario Investigaciones Agrarias (ICIA), Dpto. Suelos y Riegos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 Tenerife, España; cregalad@icia.es

RESUMEN. El estudio de los cambios de volumen (“swelling/shrinkage”) asociados a las variaciones de humedad de los suelos es importante en la zona no saturada, considerando que muchas de sus propiedades físicas e hidráulicas, como la capacidad de retención de humedad, movimiento de agua y solutos, presencia de flujo preferencial, etc., se ven afectadas con estos cambios de volumen. En muchos tipos de suelos volcánicos (Andisoles y suelos ándicos) la magnitud de la retracción es importante, aunque con un alto grado de irreversibilidad. En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio de la retracción en muestras alteradas e inalteradas de una serie de suelos naturales y cultivados de la isla de Tenerife, con distinto carácter ándico y condiciones de manejo diferentes. Los resultados obtenidos por ambos métodos reflejan la elevada estabilidad estructural de estos suelos en campo. Sin embargo, el aumento de la magnitud de la retracción en las muestras alteradas (remoción del suelo) pone de manifiesto un mayor riesgo de los fenómenos de retracción en los suelos cultivados bajo prácticas de manejo inadecuadas que puedan favorecer un deterioro de la estructura, con las consecuentes implicaciones hidrológicas (pérdida de agua y agroquímicos por vías preferenciales, etc.). Mediante el estudio combinado de los procesos de retracción junto con la disolución selectiva, se ha observado que el límite de retracción así como la relación de huecos (volumen poros/volumen sólidos) en todo el rango de humedad decrecen al disminuir el carácter ándico. Contrariamente a lo esperado, el Andisol es el que presenta la menor tasa de retracción, con valores muy por debajo de los característicos de los suelos alofánicos, lo que se ha atribuido a la influencia de una estación seca que favorece los procesos de agregación.

ABSTRACT. Evaluation of shrinkage in cultivated volcanic soils and its relation with some physical properties. The study of soil volumetric changes (swelling/shrinkage) with variations in water content is relevant to many physical and hydraulic soil properties of the vadose zone, since soil water retention, water and solute transport, preferential flow, etc., may be affected

by such changes in volume. In many volcanic soils (Andisols and andic soils) the magnitude of soil shrinkage is important but with a high degree of irreversibility. This work presents the first results of a study on soil shrinkage changes in both remoulded and undisturbed soil samples from selected natural and cultivated soils of Tenerife (Canary Islands), with different andic properties and under different management practices. The results obtained with both methods show the high structural stability behaviour of these soils in the field. However, the increase of shrinkage in the disturbed (remoulded) samples reflects a higher risk of the shrinkage process in the cultivated soils under inadequate management practices promoting a structural deterioration, with the consequent hydrological implications (water and agrochemical losses via preferential paths, etc.). Through the combined study of soil shrinkage and chemical extraction, we observe that the shrinkage limit and the void ratio decrease over the whole moisture range with decreasing andic character. Unexpectedly, the Andisol presents the smallest shrinkage ratio, with values lower than the characteristic values of allophanic soils, which we attribute to the influence of a dry season promoting soil aggregation.

1. Introducción

Los suelos de las Islas Canarias, de origen volcánico, presentan frecuentemente unas características físicas muy particulares de gran incidencia en su comportamiento hídrico (retención de humedad, transporte, etc). Estas propiedades se deben a una elevada capacidad estructural atribuibles a la presencia de materiales amorfos (alofana, imogolita, oxi-hidróxidos de Al y Fe (ferrihidrita), en general fuertemente asociados a la materia orgánica. Los suelos con estos constituyentes se denominan suelos ándicos y cuando son predominantes en la fracción coloidal, Andisoles (Soil Survey Staff, 1998). Debe añadirse también la presencia frecuente, especialmente en suelos derivados de materiales basálticos, de haloisita y oxi-hidróxidos cristalinos de hierro. Estos últimos

también inducen una alta agregación y estabilidad estructural. Todo ello explica por qué generalmente no sean aplicables las funciones clásicas de edafotransferencia en los suelos de las Islas, por ejemplo, la relación entre textura y conductividad hidráulica saturada (Armas-Espinel et al., 2003).

Las curvas de succión de suelos ándicos de Tenerife sugieren la presencia de varios rangos de poros (curvas multimodales), consistente con un comportamiento arenoso a bajas succiones y arcilloso a altas (Armas-Espinel et al., 2003). Sin embargo, la información suministrada por las curvas de succión (drenaje) debe complementarse con los posibles cambios de volumen asociados (retracción). Esta disminución del volumen del suelo como consecuencia del secado, tiene importantes implicaciones hidrológicas, tales como la aparición de grietas o fisuras, que se comportan como vías preferenciales a través de las cuales se pueden producir pérdidas de agua, lixiviado de agroquímicos a través de la zona no saturada y la consecuente contaminación de acuíferos. Por tanto en suelos agrícolas las estrategias de aplicación de pesticidas y fertilizantes deben contemplar la posibilidad del desarrollo de vías preferenciales, consecuencia de fenómenos de hinchamiento/retracción (“swelling/shrinkage”) originados por ciclos de riego. En suelos forestales algunas hipótesis básicas del ciclo de los nutrientes pueden igualmente verse afectadas, debido al flujo preferencial de nutrientes.

Los suelos alofánicos suelen presentar fenómenos de retracción importantes (Maeda et al., 1977), de carácter irreversible si estos suelos llegan a secarse. Por otra parte, el análisis de las curvas de retracción es uno de los pocos métodos que permiten una evaluación cuantitativa de la estructura del suelo (Coughlan et al., 1991) y sus propiedades hidroestructurales (Braudeau y Bruand, 1993; Crescimanno y Provenzano, 1999) y debe considerarse en los modelos de simulación de transporte y flujo preferencial. No existen estudios en este sentido en las Islas Canarias, aunque los suelos ándicos predominan en zonas altas y medias de muchas islas. Por otra parte, la puesta en cultivo de estos suelos entraña una serie de riesgos en su estabilidad estructural por desecación y compactación (Dorel et al., 2000) y riego con aguas de baja calidad (Armas-Espinel et al., 2003) que dependen de la intensidad del carácter ándico.

Estudios previos en la zona no saturada de terrazas de suelo transportado en Tenerife, detectaron la presencia del herbicida glifosato en la parte inferior (>60 cm) del perfil (Muñoz-Carpena et al., 1996). El glifosato tiene una vida media corta y es poco móvil. Por tanto su presencia en estratos profundos del suelo debe explicarse en términos de las particularidades texturales y estructurales de los suelos ándicos cultivados, y la aparición de vías preferenciales originadas por cambios de volumen irreversibles (Regalado et al., 2001).

La medida de la curva de retracción de un suelo se ha venido realizando desde dos aproximaciones distintas: bien mediante la medida directa del volumen de suelo por desplazamiento en un fluido siguiendo el principio de

Arquímedes: desplazamiento en petróleo (Monnier et al., 1973), en agua tras recubrir la muestra de suelo con parafina (Lauritzen y Stewart, 1941) o con resinas Saran (Brasher et al., 1966); o bien, a partir de las medidas de las variaciones en las dimensiones de las muestras de suelo (Warkentin y Maeda, 1974; Yule y Ritchie, 1980; Braudeau et al., 1999). Las curvas representan el cambio de volumen de suelo frente al contenido de agua (bien como volumen específico, inversa de la densidad aparente, o bien como relación de poros, relación de volumen de poros respecto a volumen de sólidos), definiéndose básicamente tres zonas: estructural, normal y residual, características de cada suelo. En las zonas de retracción estructural (parte más húmeda del rango de humedad) y residual (parte más seca), el cambio de volumen de suelo es menor que el volumen de agua perdida (pendiente de la curva inferior a 1), mientras que en la retracción normal, ambos cambios de volumen se igualan (pendiente aproximadamente igual a 1).

En este trabajo se presentan los primeros resultados del estudio de las curvas de retracción en suelos ándicos naturales y cultivados de la Isla de Tenerife. Se han utilizado muestras alteradas y no alteradas con el fin de tener información del efecto del manejo del suelo en su comportamiento hídrico.

2. Material y métodos

2.1. Suelos

Se han seleccionado una serie de suelos con un rango de características ándicas. Como suelos con características ándicas extremas se han estudiado un Andosol con más de un 6 % Al_0 , (Las Aves AV), y un suelo fersialítico (Ustalf) con un 0.4 % Al_0 , (Carboneras CA) representativos de las zonas alta y media de la isla de Tenerife. Sus perfiles representativos han sido descritos respectivamente por Fernández-Caldas y Tejedor-Salguero (1975) y Rodríguez et al. (1979). Asimismo se han estudiado suelos sorribados de dos fincas de plátano del Sur de Tenerife, suelos B y X, descritos por Armas-Espinel et al. (2003). Las propiedades más relevantes se presentan en la Tabla 1. Las curvas de succión de los suelos cultivados y el Andisol han sido previamente descritas por Armas-Espinel et al. (2003).

2.2. Propiedades ándicas

Los contenidos en Al, Fe y Si extraídos con oxalato amónico (Al_0 , Fe_0 , Si_0) se determinaron de acuerdo a Blakemore et al. (1981) y representarían la riqueza en componentes no cristalinos como la alofana y ferrihidrita. Los requerimientos que definen las propiedades ándicas son los siguientes (Soil Survey Staff, 1998): ($Al_0 + 1/2 Fe_0$) ≥ 2 %, densidad aparente ρ_b medida a 33 kPa ≤ 0.9 g·cm⁻³, y retención de fósforo $\Delta P > 85$ %.

2.3. Medida de la retracción

Para muestras inalteradas (agregados) se ha seguido el método de la parafina (Blake y Hartge, 1986). Este

método se basa en la medida del volumen de un agregado natural aplicando el principio de Arquímedes. Se tomaron en campo muestras inalteradas por triplicado para cada punto de muestreo (tres puntos por suelo) mediante anillos de 96.6 cm³. Los cambios de volumen se midieron a 3 contenidos de humedad distintos: saturación, 33 y 1500 kPa. Las muestras inalteradas se saturaron previamente por capilaridad en agua destilada y a partir de éstas, la serie de agregados para 33 y 1500 kPa se sometieron a dichas succiones en placas de Richard (Klute, 1986). A partir de dicho anillo se selecciona un agregado que se ata con hilo y gasa y se sumerge en parafina fundida para impermeabilizar su superficie. Los pesos antes y después de incorporar la capa de parafina permiten calcular el volumen de ésta (densidad de la parafina 0.8 g·cm⁻³). El volumen del agregado se determina por diferencia de peso al sumergirlo en aceite líquido (densidad 0.84 g·cm⁻³).

Para muestras alteradas se ha llevado a cabo el método de la pasta propuesto por Rowell, (1984). El método consiste básicamente en la medida de la reducción de volumen de una pasta saturada de suelo contenida en una placa de vidrio tipo Petri, midiendo el diámetro del disco de suelo a medida que éste se seca. Se mide el diámetro interno de placas de 1 cm de altura y 10 cm de diámetro, se recubre su interior con vaselina y se pesan. La pasta saturada de suelo (una noche de reposo) se transfiere (por duplicado) a las placas, rellenándolas perfectamente. Se pesan y dejan secar al aire, pesando diariamente y midiendo el diámetro del disco de suelo desde distintos ángulos. Cuando los pesos se hacen constantes, se secan en estufa a 105 °C y se pesa.

Se han definido las siguientes relaciones:

Relación de huecos (“void ratio”) $e = V_p/V_s = V_p/(1 - V_p)$. Relación de agua $ew = V_w/V_s$, donde V_p , V_s y V_w son los volúmenes de poros, sólidos y agua, respectivamente. Relación relativa de huecos $e_r = e \cdot 100/e_{sat}$. Relación relativa de agua $ew_r = ew_i \cdot 100/ew_{sat}$, donde e_{sat} y ew_{sat} , e_i y ew_i son los valores de e y ew para una succión de 0 (saturación) e i (kPa), respectivamente (Dorel et al., 2000).

Reducción de volumen o retracción total = $(e_{sat} - e_{1.5bar}) \cdot 100/e_{sat}$ (método de la parafina), y $(e_{sat} - e_{seco}) \cdot 100/e_{sat}$ (método de la pasta), según Poulénard et al. (2002). Límite de retracción LR = $\theta_{sat} - [(V_{sat} - V_{seco}) \cdot \rho_{agua}/m_{seco}] \cdot 100$, donde θ_{sat} y V_{sat} son el contenido de agua y el volumen de suelo a saturación, y V_{seco} y m_{seco} son el volumen y el peso de suelo seco a 105°C (Bowles, 1970). LR representa el contenido de humedad en la intersección entre las zonas de retracción normal y residual.

3. Resultados y Discusión

3.1. Curvas de retracción en suelos alterados

En la Tabla 1 se resumen las principales propiedades generales de los suelos estudiados. Los suelos se han ordenado en orden decreciente de acuerdo a su carácter

ándico: AV > X > B > CA.

En la Fig. 1 se comparan las curvas de retracción representativas de los suelos estudiados. En la Tabla 2 se recogen los siguientes parámetros característicos de las mismas: contenido de humedad (w), volumen específico (v), relación de huecos (e) y relación de agua (ew) en los puntos inicial (saturación) y final (seco) de las curvas, límite de retracción (LR) y retracción total.

En el suelo alofánico (AV) se produce una primera etapa de retracción con pendiente similar a la obtenida por Warkentin y Maeda (1974), en transición con una zona de retracción estructural aparente. De acuerdo con Warkentin y Maeda (1974), hemos tomado esta primera transición como LR. La forma de la curva es similar (aunque no coincidente en los contenidos de agua en los puntos de transición) a las mostradas por Braudeau et al. (1999) para suelos ferralíticos. Estos autores atribuyen la primera etapa de retracción a la saturación incompleta de las muestras, asignándole el término “pseudo-saturado”.

En cuanto a los valores de LR, destaca el suelo AV frente al resto, con valores elevados (entre 0.6 y 0.8 g/g agua), rango que concuerda con los datos obtenidos por otros autores en suelos alofánicos (Maeda et al., 1977). Algunas muestras (superficiales) presentan retracción estructural y en todos los casos existe retracción residual, indicando la existencia de cambios estructurales a altas succiones, a contenidos de humedad por debajo del límite de retracción (Warkentin y Maeda, 1974). Las muestras de las fincas B y X presentan valores similares de volumen específico en todo el rango de humedad, con límites de retracción entre 0.27 y 0.37 g/g agua. Generalmente presentan retracción estructural y sólo las muestras de la finca X manifiestan retracción residual. El suelo CA presenta los valores de volumen específico más bajos en la zona más húmeda de la curva aunque en la zona seca los valores son similares a las de los suelos cultivados (Tabla 2). Asimismo este suelo muestra los límites de retracción más bajos. El límite de retracción (LR) presenta como es de esperar una relación positiva con el carácter ándico (Fig. 2), así como con el contenido en materia orgánica (Maeda et al., 1977).

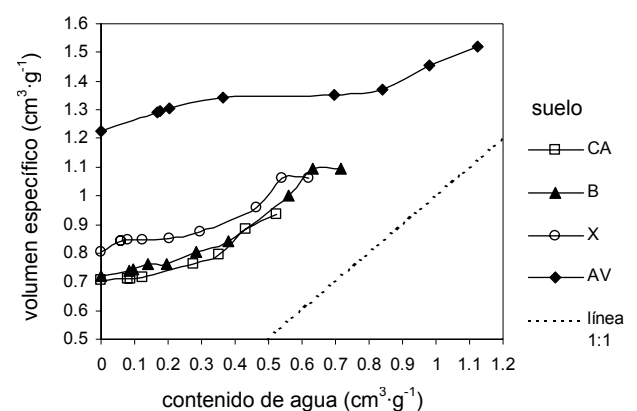


Fig. 1. Curvas de retracción para cada suelo. Se ha seleccionado una curva representativa de las diferentes muestras estudiadas para cada suelo.

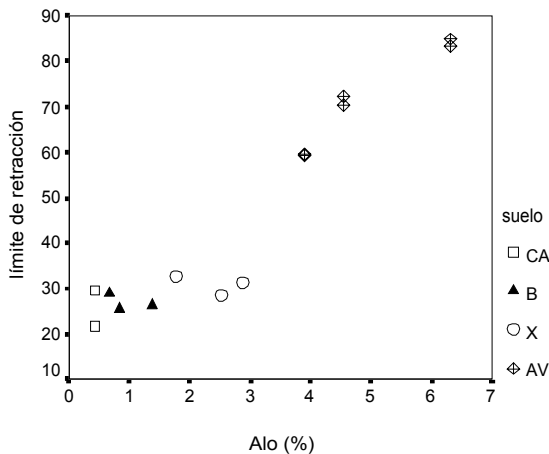


Fig. 2. Relación entre el límite de retracción (LR) y el contenido en Al₂O₃.

3.2. Variación de volumen y humedad en función de la succión en muestras inalteradas.

En la Tabla 3 se resumen los valores de relación de huecos (*e*) y relación de agua (*ew*) correspondientes a los valores de succión estudiados (33 y 1500 kPa), así como los valores de volumen específico (*v*) y humedad (*w*) correspondientes.

Todas las muestras presentan una pérdida de agua importante desde saturación hasta 33 kPa, que podría atribuirse al drenaje de macro y mesoporos ya que la disminución de la relación de huecos es pequeña, exceptuando algunas muestras de la finca B. Los valores de retención de agua así como de relación de huecos a saturación y a 1500 kPa son significativamente más elevados en el Andisol que en el resto de los suelos, mientras que el suelo CA presenta los valores más bajos de retención de agua a saturación.

En el rango entre 33 y 1500 kPa la disminución relativa de poros (*er*) es muy pequeña (< 10 %) en el suelo AV, que presenta la mayor pérdida relativa de agua (alrededor de un 60 %) frente al suelo CA, con una reducción

relativa de poros superior al 20 % (Fig 3 a y b).

Los valores elevados de *e* y *ew*, tanto en muestras alteradas, como no alteradas en todo el rango de humedad estudiado son característicos de Andisoles (Dorel et al., 2000). El suelo CA también presenta valores elevados en relación con otros tipos de suelos aunque similares a los encontrados por dichos autores en suelos haloisíticos con ferrihidrita (Nitosol).

Los valores de retracción total obtenidos en el Andisol son muy inferiores a los encontrados en la literatura para este tipo de suelos (Warkentin y Maeda, 1974; Allbrook 1992; Poulénard et al. 2002). Así, Poulénard et al. (2002), en una recopilación de suelos alofánicos encuentran que valores de *e* a saturación entre 2 y 4 se corresponden con valores de retracción total entre 40 y 55 %, mientras que en nuestro caso no superamos el 25 %. En todos los trabajos citados se trata de Andosoles de regiones con elevada pluviometría, sin estación seca, y es bien conocido que la desecación implica que gran parte de la disminución de volumen es irreversible en los suelos alofánicos (Maeda y Warkentin, 1975). En el caso de las Islas Canarias existe estación seca, lo que puede explicar tanto los bajos valores de retracción como de capacidad de retención de agua en relación con el contenido en alofana (Nanzoyo et al., 1993).

En definitiva, los resultados obtenidos por ambos métodos ponen de manifiesto la elevada estabilidad estructural de los suelos estudiados. No obstante, el efecto de remoción del suelo (pasta) es importante, por lo menos en la zona más húmeda del intervalo estudiado, como se desprende al comparar los valores de relación de huecos a saturación (Tablas 2 y 3), sensiblemente más elevados en las muestras no alteradas. Este resultado puede interpretarse según Takenaka (1965) por la destrucción de agregados durante la preparación de la pasta, que tiene como consecuencia una disminución de la succión del suelo y un aumento de la magnitud de la retracción.

Tabla 1. Valores medios de las principales propiedades de los suelos.¹

Suelo	CE ² (dS·m ⁻¹)	pH _{ext} ²	PSS ²	C	Al ₂ O ₃ (%)	Fe _o	Si _o	Mineralogía de arcillas ³
AV	0.4 (<0.1)	6.3 (±0.3)	6.1 (±1.1)	7.7 (±0.1)	4.9 (±0.1)	1.7 (<0.1)	1.2 (<0.1)	A, Im
X	3.1 (<0.1)	7.1 (<0.1)	11.2 (±0.4)	1.8 (±0.1)	2.4 (<0.1)	1.4 (<0.1)	0.9 (<0.1)	Ht
B	1.8 (<0.1)	7.3 (<0.1)	5.6 (±0.2)	1.3 (<0.1)	1.0 (<0.1)	1.8 (<0.1)	0.5 (<0.1)	Ht, Sm ⁴
CA	0.6 (<0.1)	6.2 (±0.1)	15.2 (±0.1)	0.6 (<0.1)	0.4 (<0.1)	1.3 (<0.1)	0.2 (<0.1)	Ht >> Il

¹ media (error típico de la media).

² CE y pH del extracto de pasta saturada. PSS = % de saturación de Na cambiante. C = carbono orgánico.

³ A = alofana, Im = imogolita, Ht = haloisita, Il = ilita. ⁴ Sm = con frecuencia se detectan pequeñas cantidades de esmectita.

Tabla 2. Valores medios de los parámetros característicos de las curvas de retracción: Contenido de agua gravimétrico (*w*), volumen específico (*v*), relación de agua (*ew*), relación de huecos (*e*), límite de retracción (LR) y retracción total para cada suelo (muestras alteradas).¹

Suelo	N	w _i (cm ³ H ₂ O·g ⁻¹)	v _i (cm ³ suelo·g ⁻¹)	v _f (cm ³ suelo·g ⁻¹)	ew _i	e _i	e _f	LR	Retracción total ² (%)
AV	10	1.06 (<0.01)	1.48 (<0.01)	1.21 (<0.01)	2.76	2.86	2.14	79.2 (±3.9)	24.9 (±0.6)
X	3	0.65 (<0.01)	1.01 (<0.01)	0.75 (<0.01)	1.70	1.62	0.95	30.9 (±1.3)	42.0 (±2.2)
B	3	0.69 (±0.01)	1.07 (±0.01)	0.74 (±0.01)	1.81	1.79	0.93	27.0 (±1.0)	48.4 (±3.9)
CA	4	0.55 (<0.01)	0.98 (<0.01)	0.71 (<0.01)	1.44	1.55	0.85	26.6 (±1.7)	49.4 (±5.8)

¹ Número de casos (N), media (error típico de la media). Subíndices *i* = puntos inicial (saturación) y *f* = final (seco) de la curva.

² Retracción total = (e_{sat} - e_{seco}) · 100 / e_{sat}

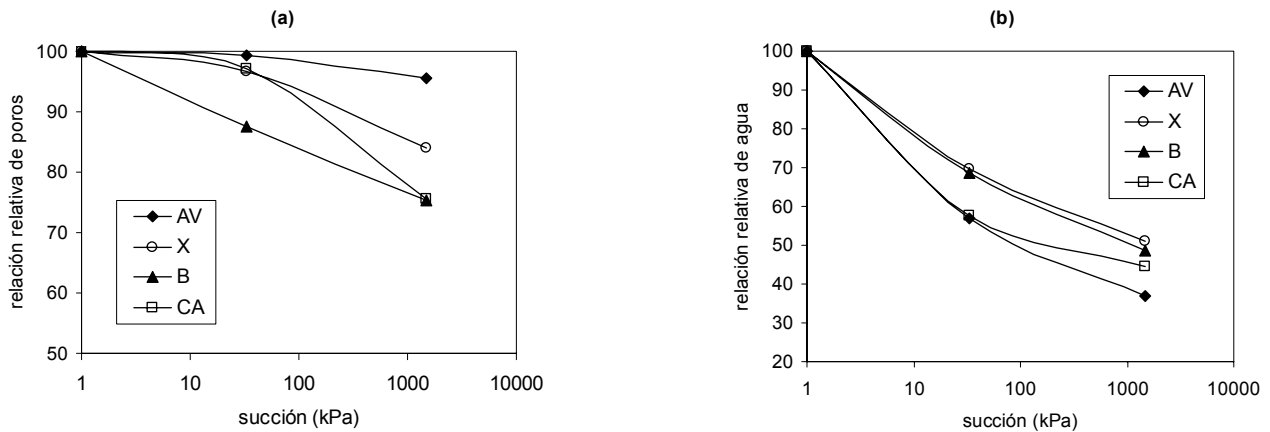


Fig. 3. Relación entre la relación relativa de poros, e_r , (a) y relación relativa de agua, e_{wr} , (b) con la succión (kPa), por suelos. Se han seleccionado valores representativos de las diferentes muestras estudiadas para cada suelo.

Tabla 3. Valores medios de contenido de agua gravimétrico (w), volumen específico (v), relación de huecos (e), relación de agua (ew) y retracción total para cada suelo (muestras inalteradas).¹

Suelo	N	Succión (kPa)	w (cm ³ agua·g ⁻¹)	v (cm ³ suelo·g ⁻¹)	ew	e	Retracción total ² (%)
AV	3	0	1.25 (±0.01)	1.90 (±0.01)	3.24	3.93	6.6 (±0.9)
		33	0.71 (<0.01)	1.88 (±0.01)	1.83	3.91	
		1500	0.46 (<0.01)	1.80 (±0.01)	1.20	3.67	
X	3	0	0.67 (<0.01)	1.13 (<0.01)	1.83	1.94	16.0 (±1.1)
		33	0.48 (<0.01)	1.10 (<0.01)	1.25	1.86	
		1500	0.34 (<0.01)	1.01 (<0.01)	0.93	1.63	
B	3	0	0.73 (±0.01)	1.13 (<0.01)	1.89	1.94	24.7 (±4.8)
		33	0.49 (<0.01)	1.04 (<0.01)	1.30	1.70	
		1500	0.35 (<0.01)	0.94 (<0.01)	0.92	1.46	
CA	3	0	0.55 (<0.01)	1.04 (<0.01)	1.42	1.71	24.6 (±0.4)
		33	0.31 (<0.01)	1.02 (<0.01)	0.82	1.66	
		1500	0.24 (<0.01)	0.88 (<0.01)	0.63	1.29	

¹ Número de casos (N), media (error típico de la media).

² Retracción total = $(e_{sat} - e_{15bar}) \cdot 100 / e_{sat}$

4. Conclusiones

El estudio combinado de los procesos de retracción junto con la disolución selectiva ha conducido a las siguientes conclusiones.

Al disminuir el carácter ándico disminuye el límite de retracción así como la relación de huecos en todo el rango de humedad. Los resultados obtenidos sugieren que las practicas de manejo (pérdida de estructura) tienden a aumentar la magnitud de la retracción. Contrariamente a lo esperado, el Andisol es el que presenta la menor tasa de retracción, con valores muy por debajo de los característicos de los suelos alofánicos, lo que se ha atribuido a la influencia de una estación seca que favorece los procesos de agregación. Por lo tanto, a la hora de incorporar las curvas de retracción en los modelos de simulación de transporte y flujo preferencial, hay que considerar, frente al comportamiento de los suelos expansibles, la irreversibilidad que pueden presentar los suelos ándicos, es decir, su historia. Esto supone una limitación del uso de los parámetros ándicos en las funciones de edafotransferencia, que deberían

complementarse con parámetros de retracción. Además, sería recomendable, como sugieren diversos autores (McGarry y Daniells, 1987; Coughlan et al., 1991), limitar el análisis de la retracción a la medida de índices específicos que han demostrado ser sensibles al manejo de los suelos agrícolas, como por ejemplo el índice α de la curva (volumen específico a retención de agua igual a cero).

Por otro lado, los cambios de volumen en el suelo durante un proceso de secado pueden acarrear importantes consecuencias metodológicas. Así, los fenómenos de retracción, sobre todo a succiones altas (1500 kPa), pueden provocar durante la obtención de curvas de retención, pérdida de contacto de la muestra con la placa porosa, con la consecuente sobrestimación del contenido de humedad (Gee et al., 2002).

Agradecimientos. Parte de esta investigación ha contado con el apoyo del Organismo Autónomo Balsas de Tenerife (BALTEN). Agradecemos al Dr. Milítelo (Facultad de Física, ULL) sus recomendaciones para el análisis de la retracción.

Referencias

- Allbrook, R.F., 1992. Shrinkage of some New Zealand soils and its implication for soil physics. *Aust. J. Soil Res.*, 31, 111-118.
- Armas-Espinel, S., Hernández-Moreno, J.M., Muñoz-Carpena, R., y Regalado, C.M., 2003. Physical properties of "sorriba" cultivated volcanic soils from Tenerife in relation to andic diagnostic parameters. *Geoderma*, Número especial en suelos volcánicos. En prensa (2024).
- Blake, G.R., y Hartge, K.H., 1986. Bulk Density, en A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph no. 9* (2nd ed.), pp. 363-375.
- Blakemore, L.C., Searle, P.L. y Daly, B.K., 1981. *Methods for chemical analysis of soils*. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 10A.
- Bowles, J.E., 1970. *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill book Co., pp 25-31.
- Brasher, B.R., Franzmeir, D.P., Valessis, V. y Davidson, S.E., 1966. Use of Saran resin to coat natural soil clods for bulk density and water retention measurements. *Soil Sci.*, 101, 108.
- Braudeau, E. y Bruand, A., 1993. Détermination de la courbe de rétrait de la phase argileuse à partir de la courbe de rétrait établie sur échantillon de sol non remanié. Application à une séquence de sol de Cote-d'Ivoire, C.R. Acad. Sci. Paris 307 (II), 685-692.
- Braudeau, E., Costantini, J.M., Bellier, G. y Colleuille, H., 1999. New device and method for soil shrinkage curve measurement and characterization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 525-535.
- Coughlan, K.J., McGarry, D., Loch R.J., Bridge, B. y Smith, G.D., 1991. The measurement of soil structure - Some practical initiatives. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 869-89.
- Crescimanno, G. y Provenzano, G., 1999. Soil shrinkage characteristic curve in clay soils: Measurement and prediction. *Soil Sci. Soc. Am.*, 63, 25-32.
- Dorel, M., Roger-Estrade, J. Manichon, H. y Delvaux, B., 2000. Porosity and soil water properties of Caribbean volcanic ash soils. *Soil Use and Management*, 16, 133-140.
- Fernández-Caldas, E. y Tejedor-Salguero, M.L., 1975. Andosoles de las Islas Canarias. Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Santa Cruz de Tenerife. Número 29, Investigación 6. Canarias.
- Gee, G.W., Ward, A.L., Zhang, Z.F., Campbell, G.S. y Mathison, J., 2002. The influence of hydraulic nonequilibrium on pressure plate data. *Vadose Zone Journal*, 1, 172-178.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. p. 635-662. En A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Lauritzen, C.W. y Stewart, A.J., 1941. Soil-volume changes and accompanying moisture and pore-space relationships. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 6, 113-116.
- Maeda, T., Takenada, H. y Warkentin, B.P., 1977. Physical properties of allophane soils. *Advances in Agronomy*, 29, 229-261.
- Maeda, T. y Warkentin, B.P., 1975. Void changes in allophane soils determining water retention and transmission. *Soil Sci. Amer. Proc.* 39, 398-403.
- McGarry, D. y Daniells, I.G., 1987. Shrinkage curve indices to quantify cultivation effects on soil structure of a Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1575-1580.
- Monnier, G., Stengel, P. y Fies, I.C., 1973. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité. *Ann. Agron.*, 24, 533-545.
- Muñoz-Carpena, R., Cabrera, M.C., Hernández, F. y Socorro, A.R., 1996. Development of Analytical and Sampling Methods for Priority Pesticides and Relevant Transformation Products in Aquifers. Informe Final Proyecto UE EV5V-CT93-0322. ICIA: La Laguna.
- Nanzio, M., Dahlgren, R.A. y Shoji, S., 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils. En: *Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilisation*. S. Shoji, M. Nanzio, and R.A. Dahlgren (Eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 145-188.
- Poulenard, J., Bartoli, F. y Burtin, G., 2002. Shrinkage and drainage in aggregates of volcanic soils: a new approach combining mercury porosimetry and vacuum drying kinetics. *European J. of Soil Sci.*, 53, 1-12.
- Regalado, C.M., Muñoz-Carpena, R., Alvarez-Benedí, J., Socorro, A.R. y Hernández-Moreno, J.M., 2001. Field and Laboratory Setup to Determine Preferential Flow in Volcanic Soils, pag. 93-96. En: *Preferential Flow, Water Movement and Chemical Transport in the Environment*, Proc. 2nd Int. Symp. eds. D. D. Bosch and K. W. King. St. Joseph, Michigan: ASAE 701P0006.
- Rodríguez-Rodríguez, A., Tejedor-Salguero, M.L. y Fernández-Caldas E., 1979. Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38, (7-8), 1021-1137.
- Rowell, D. L., 1994. *Soil Science. Methods and applications*. Longman Scientific & Technical, Singapore.
- Soil Survey Staff, 1998. *Keys to soil taxonomy*. 8th edn. U.S.D.A.-NRCS, Lincoln, NE.
- Takenaka, H., 1965. Upon the engineering properties of soil in view of the shrinkage behavior. *Trans. Agric. Eng. Soc. Japan*, 14, 32-35.
- Yule, D.F., Ritchie, J.T., 1980. Soil shrinkage relations of Texas vertisols: I. Small cores. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 1285-1291.
- Warkentin, B.P. y Maeda, T., 1974. Physical properties of allophane soils from the West Indies and Japan. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 372-376.