

## **Distribución de poros en un suelo vertisólico de uso arrocero**

### **Pore size distribution of a Vertisol cropped to rice**

WILSON, M.<sup>1,3</sup>; PAZ FERREIRO, J.<sup>2</sup>; QUINTERO, C.<sup>1</sup>; VIDAL VÁZQUEZ, E.<sup>2</sup>; DÍAZ, E.<sup>1</sup>  
& CERANA, J.<sup>1</sup>

#### **Abstract**

Vertisols and soils with vertisolic characteristics from Entre Ríos province (Argentina) display a high structural stability when supporting natural vegetation. This is mainly attributed to the effects of the colloidal fraction, which is characterized by a high proportion of smectitic clays, exchangeable calcium saturation, and also high organic matter content. However, these soils are very sensitive to structural decay and show a magnification of degradation symptoms when cultivated. Thus, intensification of soil agricultural use is the main cause of structure deterioration. The aim of this work was to evaluate the effect of soil use intensity, with rice as the main culture on the pore size distribution of a vertisolic soil irrigated with sodic bicarbonate water. Parameters for assessing structural stability were determined in samples with different pre-treatments, and, in addition soil properties such as organic matter content, total nitrogen, soil reaction and exchangeable sodium were routinely analyzed. Soil pore size distribution was determined using mercury intrusion porosimetry. Increasing rice proportion along the studied

(1) Departamento Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta 11 km 10,5. (3100) Paraná, Entre Ríos (Argentina). E mail: mwilson@parana.inta.gov.ar.

(2) Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. Campus de A Zapateira s/n. 15071 A Coruña. E-mail: tucho@udc.es; evidal@udc.es.

(3) Estación Experimental Agropecuaria Paraná INTA. Ruta 11 km 12,5. (3100) Paraná, Entre Ríos (Argentina).

rotation caused increased exchangeable sodium and a loss of organic matter content. The former result was specifically related to the use of sodic bicarbonate water for irrigation. As a consequence of the intensification of the rice crop the studied soil exhibited less structural stability, thus a weaker pore system. The loss of total porosity was reflected by a decrease in the percolation level, so that a significant relationship was found between both variables. In addition to total porosity decrease, also changes in pore size distributions were observed, meaning a loss of transmission pores and a relative higher proportion of residual pores.

**Key words:** porosity, Vertisols, rice, irrigation, use intensity

## INTRODUCCIÓN

Una buena estructura del suelo que presente una adecuada distribución de poros, garantiza la entrada de agua y aire, su circulación, almacenamiento y redistribución entre los horizontes y el óptimo aprovechamiento de los nutrientes. Sin embargo, el uso y manejo agrícola provoca modificaciones en la estructura natural del suelo, que a largo plazo puede condicionar su productividad.

La estabilidad estructural se refiere a la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fase sólida y la organización del espacio poroso cuando es expuesto a diferentes tipos de estrés (KAY, 1990). A escala textural existe una dependencia entre la resistencia a la tracción, la organización de las partículas elementales y la constitución del suelo (PAZ GONZÁLEZ & GUÉRIF, 1993). Asimismo, la intensificación del uso agrícola provoca la pérdida de materia orgánica y ello se traduce en la inestabilidad de los agregados y de los macroporos del suelo (HÉNIN *et al.*, 1972; BENITO & DÍAZ FIERROS, 1992; ORELLANA & PILATTI, 1994; PAZ GONZÁLEZ, 2002).

Los suelos vertisólicos de Entre Ríos, Argentina, presentan alta estabilidad estructural en condiciones naturales, debido al aporte proporcionado por los coloides (WILSON & CERANA, 2004), determinado genéticamente por las elevadas cantidades de arcillas esmectitas, el Ca intercambiable (CONTI, 2004) y el alto contenido en materia orgánica. Sin embargo, son muy sensibles y tienden a magnificar los síntomas de deterioro cuando son puestos en producción (SO & COOK, 1993; POTTER & GERIK, 2001; CERANA *et al.*, 2004).

La mineralización de la materia orgánica por el excesivo laboreo durante la preparación de la cama de siembra y del lote a regar, y el aumento del sodio de intercambio a causa de la calidad del agua, han provocado el deterioro progresivo de la estructura del suelo a medida que aumenta la participación del arroz en la rotación (WILSON, 2003).

La degradación de la estructura del suelo durante el proceso de humedecimiento, es más notorio en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, habiendo un mayor control de la conductividad hidráulica con mayores niveles salinos, particularmente en agregados medianos (LADO *et al.*, 2004). En tal sentido, la dispersión de las arcillas provocada por el sodio incorporado, se traduce en la inestabilidad del sistema poroso, afectando la entrada de agua y su circulación en el suelo (SO & AYLMORE, 1993). Por lo tanto, la cuantificación del espacio poroso constituye un buen indicador de la calidad del suelo, ya que define la complejidad de la estructura del mismo y el conocimiento de sus modificaciones por causas del manejo agrícola (PAGLIAI & VIGNOZZI, 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso agrícola con el cultivo de arroz como base de las rotaciones, sobre la distribución de poros, en un suelo vertisólico regado con agua bicarbonatada sódica.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un establecimiento de 2500 ha situado en el Departamento Villaguay, Entre Ríos (Argentina). En el lugar seleccionado, Establecimiento San Cristóbal, hasta el año 1998 se realizó un manejo agrícola-ganadero, basado fundamentalmente en praderas y cultivo de arroz. A partir de dicha fecha, se implementó un sistema agrícola más exigente sobre el recurso suelo, con secuencias de cultivos arroz/ soja/ maíz y la utilización generalizada del riego combinando el riego con pívot y por inundación con agua de pozos profundos y agua superficial del Río Gualaguay y el Arroyo El Tigre.

Para conocer el efecto del sistema de producción sobre el suelo y en particular sobre la distribución del sistema poroso, se seleccionaron ocho condiciones representativas del manejo actual en el establecimiento. En la Tabla 1, se indica la secuencia de cultivos de los últimos cinco años. Se estudió un suelo clasificado den-

tro del Orden Vertisol, perteneciente al Gran Grupo Hapludertes (USDA, 1998). Se realizó

un muestreo compuesto de la capa superficial del suelo, hasta 12 cm de profundidad.

Condición	Historia	% Arroz
1	Inalterado. Monte virgen	0 Az
2	Sin riego, Soja/ Maíz/ Soja/ 2 Maíz	0 Az
3	2 Arroz/ Soja/ 2 Maíz	40 Az
4	2 Arroz/ Soja/ Maíz/ Soja	40 Az
5	Arroz/ Maíz/ 2 Arroz/ Maíz	60 Az
6	4 Arroz/ Soja	80 Az
7	Soja / 4 Arroz	80 Az
8	5 Arroz	100 Az

Tabla 1. Historia agrícola, últimos cinco años, de las condiciones de manejo seleccionadas.

Se determinaron las variables de HÉNIN *et al.* (1958) y BENAVIDEZ (1971): el índice de inestabilidad (Is), con sus pretratamientos agua, alcohol, benceno y promedio; además del Ks de percolación, a partir de agregados menores de 2 mm. Este último es un método indirecto para evaluar la estabilidad de la estructura del suelo, ya que determina la percolación poniendo en evidencia el mecanismo de estallido que produce el hinchamiento de las partículas. Suelos con estructura poco estable forman una masa compacta, poco permeable al agua. Los índices de Hénin, reflejan la influencia de iones alcalinos y los efectos de la materia orgánica sobre la estabilidad de los agregados y del sistema poroso (HÉNIN *et al.*, 1972; MATHIEU & PIELTAIN, 1998).

Se cuantificó además la materia orgánica (MO) (WALKLEY & BLACK), el nitrógeno total (Nt) (Kjeldahl), el pH en agua (reacción del suelo, relación 1:2,5), el contenido de sodio de intercambio (CSI) por fotometría de llama y el porcentaje de sodio de intercambio (PSI) a partir de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), (JACKSON, 1976). El análisis granulométrico se realizó de acuerdo con el método internacional, previa eliminación de

la materia orgánica con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y dispersión con hexametáfosfato de sodio (MAPA, 1994).

Para algunos procesos del suelo, la porosidad total es menos importante que la distribución del tamaño de poros. Así, la capacidad de un poro de transmitir agua decrece drásticamente con su tamaño (CAMERON & BUCHAN, 2002). De este modo, se analizaron los efectos del riego sobre la distribución de tamaño de poros y el rango de poros, tomando en este caso como testigo a la condición agrícola sin riego (condición 2). Según GREENLAND (1977), los poros se pueden clasificar en poros de transmisión (> 50 µm), de almacenamiento (50-0.5 µm) y residuales (< 0.5 µm). La distribución del tamaño de poros se determinó mediante la técnica de intrusión de mercurio (FIÈS, 1984). La medida se llevó a cabo en alícuotas de aproximadamente 0,6 a 0,9 g formadas por agregados de 1-2 mm, con el fin de caracterizar la porosidad textural. Se admite que una fracción del espacio poroso resulta de la asociación de partículas elementales para formar unidades estructurales, y que el volumen que ocupa esta fracción viene determinado por las características de las partículas elementales (tamaño, forma mineralógica, complejo catiónico), así como por su estado de hidratación. A esta fracción se

le denomina porosidad textural (MONNIER *et al.*, 1973; FIÈS & STENGEL, 1981).

Se utilizó un porosímetro modelo Pascal con dos unidades (Pascal 140 y 440), una para macroporos y otra para microporos, que permite operar desde  $3 \times 10^{-3}$  hasta 200 MPa. Con este dispositivo se miden diámetros equivalentes entre aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  y 60 nm (FIÈS & BRUAND, 1990). Los datos finales se elaboran mediante un programa de ordenador, a partir del cual se obtienen las siguientes variables: volumen total de poro, radio del mismo y distribución de poros según tamaños (BENITO *et al.*, 1991).

El riego se realiza por inundación del lote, utilizando agua de origen subterráneo. Las arenas acuíferas que se extienden en el subsuelo del Centro Este de Entre Ríos pertenecen a la Formación Salto Chico que es de origen fluvial depositada por el Río Uruguay y sus afluentes. Esta formación está asentada sobre la Formación Fray Bentos, de edad Terciaria-Oligoceno y Plioceno, por lo que Salto Chico correspondería Pleistoceno Inferior o medio, aunque algunos autores la dan por depositada durante el Plioceno superior (IRIONDO, 1980).

DÍAZ *et al.* (2002), analizaron resultados analíticos de muestras de aguas de perforaciones del área y determinaron su aptitud para el riego, apreciando una disminución de la calidad hacia el oeste del Río Gualeguay, que se constituye como área de descarga oeste de la Formación Salto Chico. MENDIETA *et al.* (2003) realizaron 59 ensayos de caudales y consumos de combustible en sistemas de perforaciones para riego y obtuvieron caudales medios de  $369 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , con un rango comprendido entre 167 y  $588 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Las conversiones de combustible líquido oscilaron entre 10,1 y  $21,5 \text{ m}^3$  de agua por cada litro de combustible utilizado, lo que es indicativo de un acuífero de gran rendimiento.

Para la caracterización de la calidad del agua, se estudiaron las siguientes variables en cuatro perforaciones utilizadas para riego: pH por el método potenciométrico, CE

(Conductividad Eléctrica), Aniones y Cationes (RICHARDS, 1970; JACKSON, 1976). Se estimó la RAS (Relación de Adsorción de Sodio), (USSL STAFF, 1954) y la RAS ajustada utilizada para corregir el peligro de sodificación de aguas con altos contenidos de carbonatos y bicarbonatos (AYERS & WESTCOT, 1976).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad del agua de riego

En la Tabla 2 se presenta la caracterización físico-química del agua de riego de origen subterráneo de los pozos utilizados. Pudo observarse que la calidad del agua difirió entre perforaciones, fundamentalmente el pozo que riega el suelo de la condición 8, el cuál presentó una conductividad eléctrica mayor a  $1300 \mu\text{Scm}^{-1}$  y valores de RAS y RAS aj. cercanos a 6 y 13, respectivamente. Asimismo, el pozo de la condición 3 supera la RAS aj. de 9 y la perforación que riega los suelos 4 y 7, mostraron valores muy cercanos a dicho valor límite.

Según las directrices de AYERS & WESTCOT (1976), en suelos donde predominan arcillas del tipo de las esmectitas (particularmente montmorillonitas), existirán problemas crecientes en la permeabilidad cuando el agua de riego presente RAS aj. entre 6 y 9, y problemas graves con RAS aj.  $> 9$ . En tal sentido, WILSON *et al.* (2002), mostraron el aumento de PSI en función de la participación del arroz en la rotación para agua de riego bicarbonatada sódica, con diferente RAS aj. Así, aguas de RAS aj.  $< 9$  produjeron un leve aumento del PSI ( $y = 0,033x + 2,44$ ,  $R^2 = 0,60$ ), llegando a valores menores de 6%, con 80% de arroz en la rotación; mientras que cuando se superaron los RAS aj. = 9, se provocó una sodificación mayor, observándose una mayor pendiente de la recta ( $y = 0,1103x + 3,25$ ,  $R^2 = 0,73$ ), alcanzando valores cercanos a 15% de PSI cuando el arroz participó en una alta proporción de la rotación (más del 80%). Por lo tanto, según las directrices mencionadas, el agua utilizada en este estudio provocaría problemas crecientes a graves de sodificación de los suelos.

Condición	pH	CE $\mu\text{Scm}^{-1}$	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> $\text{mg l}^{-1}$	Na <sup>+</sup> $\text{mg l}^{-1}$	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> $\text{mg l}^{-1}$	RAS	RAS aj.
5 y 6	6,89	828	157,1	104,4	404,6	2,91	6,83
3	6,88	966	131,4	150,2	316,1	4,57	10,29
8	7,22	1364	132,7	195,9	416,8	5,94	13,36
4 y 7	6,98	783	119,8	124,2	404,6	3,96	8,91

Tabla 2. Caracterización físico-química del agua para riego de origen subterráneo, indicando la condición de suelo regado. (CE: conductividad eléctrica; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> son iones calcio, magnesio, sodio, cloruro y bicarbonato, respectivamente. RAS es relación de adsorción de sodio y RAS aj. es RAS ajustada).

La salinidad y la relación de adsorción de sodio (RAS) del agua aplicada con el riego, deben ser consideradas de manera conjunta para conocer el peligro potencial de la calidad del agua sobre las propiedades físicas del suelo (RHOADES *et al.*, 1992; GUPTA & ABROL, 1990; RYCROFT *et al.*, 2002). Los grandes volúmenes de agua requeridos para inundar el cultivo de arroz y el desequilibrio entre la RAS y la salinidad, han magnificado los efectos de sodificación de suelos arroceros de Entre Ríos (WILSON *et al.*, 2002).

### Calidad del suelo arrocero

La textura superficial de los suelos pertenece a la clase franco-arcillo limosa, con más de 29% de arcilla y el porcentaje de limo osci-

la entre 52% y 62%. Sólo el suelo de la condición 5 presentó textura franco-limosa, con más de 19% de arena, perteneciendo a la fracción gruesa el 5%.

Cuanto menores son los contenidos de materia orgánica en el suelo mayores son los valores de Is, mientras que con el aumento del sodio de cambio, disminuyen los valores de Ks de precolación (HÉNIN *et al.*, 1972). WILSON (2003), halló una relación potencial entre MO e Is y entre el PSI y el Ks para el efecto del uso arrocero en Vertisoles regados con agua bicarbonatada sódica. En la Fig. 1 puede observarse que dicha relación se cumple en las condiciones estudiadas en el presente trabajo, con  $y = 15,09 x^{-2,23}$  ( $R^2 = 0,48$ ) para MO – Is y,  $y = 15,39 x^{-0,68}$  ( $R^2 = 0,67$ ), para CSI – Ks.

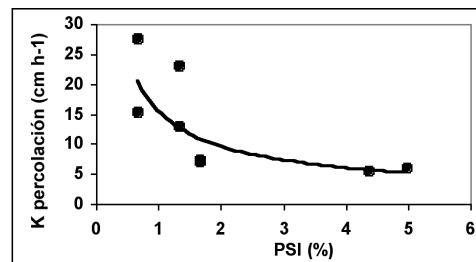
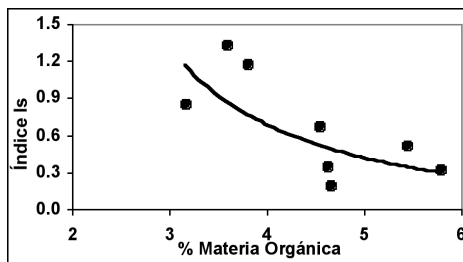


Fig. 1. Relaciones entre la MO – Is y CSI – Ks de percolación en función de la participación del arroz en la rotación. Estancia San Cristóbal, Entre Ríos - Argentina.

La dispersión del suelo depende de la mineralogía de las arcillas y la concentración de cationes, tanto en la solución como del complejo de cambio. Así, muchos suelos son afectados con valores tan bajos como 6% de PSI (MARSHALL *et al.*, 1996), o aún menores (COOK & MULLER, 1997), en particular los Vertisoles (SO & COOK, 1993).

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos de las variables de suelo analizadas. Puede observarse que la condición 1 (inalterada), presenta los valores más adecuados de suelo desde el punto de vista productivo, reflejado por los indicadores de calidad. La condición 2 (sin riego y sin arroz), muestra buenos valores de Ks y de agregados estables,

pero algo inferiores a la situación inalterada, debido a que son afectadas estas variables una vez puesto el suelo en producción. Asimismo, no se presentan diferencias en el contenido de sodio de intercambio ( $0,236 \text{ cmol}_{(c+)}\text{kg}^{-1}$ ), demostrando que el aumento de esta variable, dado en las otras condiciones, se debe a la incorporación del elemento  $\text{Na}^+$  a causa del riego. Los valores más altos de CSI correspondieron a aquellos lotes regados con agua de menor calidad y con mayor proporción de arroz en la rotación (condición 7 y 8), con 1,5 y  $1,4 \text{ cmol}_{(c+)}\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Estos mayores niveles de sodio de intercambio afectaron notablemente al Ks.

Condición	Nt %	AGU%	ALC%	BEN%	MED%	Is	Ks $\text{cmh}^{-1}$	CSI $\text{cmol}_{c+}\text{kg}^{-1}$
1	0,29	60,0	66,3	53,9	60,1	0,195	27,7	0,236
2	0,21	50,9	62,1	33,9	48,9	0,354	15,5	0,236
3	0,29	49,8	61,6	43,1	51,5	0,319	23,1	0,473
4	0,15	38,5	48,2	19,5	35,4	0,849	7,4	0,591
5	0,21	28,9	53,2	22,5	34,9	0,669	13,0	0,473
6	0,18	22,0	49,8	11,6	27,8	1,326	7,09	0,591
7	0,22	40,2	55,9	31,8	42,6	0,515	6,1	1,537
8	0,18	29,9	38,7	13,9	27,5	1,171	5,7	1,419

Tabla 3. Indicadores de calidad de suelo y sus variables asociadas. (Nt: nitrógeno total; AGU, ALC, BEN, MED, son agregados estables al agua, alcohol, benceno y promedios, respectivamente; Is: índice de inestabilidad; Ks de precolación (por el método de Hénin); CSI es contenido de sodio de intercambio).

La condición 3, con 40% de arroz en la rotación, muestra valores elevados de Ks y ello se debe a las mejores condiciones de suelo después de dos campañas con maíz en los últimos dos años. El descenso del aporte de agua de riego aplicada, junto con el aporte de rastrojos del cultivo, permite la recuperación física del suelo reflejado en los valores de los indicadores, especialmente el carbono orgánico (3,36%) y el nitrógeno total (0,283%), acercándose e incluso superando a la situación sin riego.

Cuando el arroz participa en una alta proporción de las rotaciones, se observa la dismi-

nución en el contenido de carbono orgánico y de nitrógeno en el suelo, tanto del nitrógeno total (DE BATTISTA, 2004), como del potencialmente mineralizable (MORÓN, 2003), y ello a su vez provoca la caída de los índices de estabilidad estructural. En tal sentido, los agregados estables y el Is, se ven afectados por las rotaciones que incluyen arroz en mayor proporción, al igual que lo observado con la variable Ks de percolación a causa del aumento del sodio de intercambio. Sin embargo, la condición 7 no cumple con lo anteriormente expuesto.

La falta de la alternancia contracción–dilatación durante períodos prolongados de tiempo, puede afectar la autoestructuración natural de los Vertisoles (NYAMUDEZA *et al.*, 2001). WILSON & CERANA (2004), observaron un descenso de la permeabilidad de Vertisoles del orden del 60 al 75%, luego de un período lluvioso de tres años con más de 1500 mm anuales de promedio.

LE BISSONNAIS (1996), identificó cuatro mecanismos de desagregación: la desagregación por compresión del aire ocluido que origina rotura por efecto del estallido, la desagregación mecánica debida al impacto de las gotas de lluvia, la microfisuración por hinchamiento diferencial y la dispersión por procesos físico-químicos. Este último ocurre durante la humectación y resulta de la reducción de las fuerzas de atracción entre partículas coloidales (SUMMER, 1992). Los suelos de uso arrocero en Entre Ríos, permanecen largos períodos en estado húmedo. La inundación del cultivo de arroz requiere entre 1100 y 1300 mm anuales. A ello deben sumarse las precipitaciones de otoño y la baja tasa de evaporación en invierno. Asimismo, la calidad del agua de riego, el alto porcentaje y tipo de arcilla, y la disminución en los niveles de materia orgánica, han

provocado, a largo plazo, el alto grado de inestabilidad estructural observado.

### Distribución del tamaño de poros en suelo arrocero

La porosidad textural viene definida por el espacio de poros entre los agregados, en estrecha relación con los coloides del suelo (MONNIER *et al.*, 1973). PINI *et al.* (1993), observaron la reducción de poros mayores a 0,3  $\mu\text{m}$  en suelos cultivados, con un alto incremento de las clases pequeñas respecto a aquellos no cultivados.

En la Fig. 2, se presenta el efecto del manejo agrícola sobre la distribución del tamaño de poros. Puede observarse en la condición 2 (sin riego y sin arroz) tomada como testigo, una alta proporción de macroporos ( $> 50 \mu\text{m}$ ), con un adecuado balance en los otros rangos de poros. Desde el punto de vista de la calidad del suelo, esta distribución de poros garantiza el normal desplazamiento del agua y aire al interior del suelo, así como un adecuado almacenamiento de agua para los cultivos. Sin embargo, este tamaño de poros se reduce notoriamente con el cultivo de arroz. En las condiciones 40 a 60% de arroz en la rotación, respecto al testigo, se da un aumento importante en los poros del rango 50 – 0,5  $\mu\text{m}$  y es leve en los poros residuales ( $< 0,5 \mu\text{m}$ ).

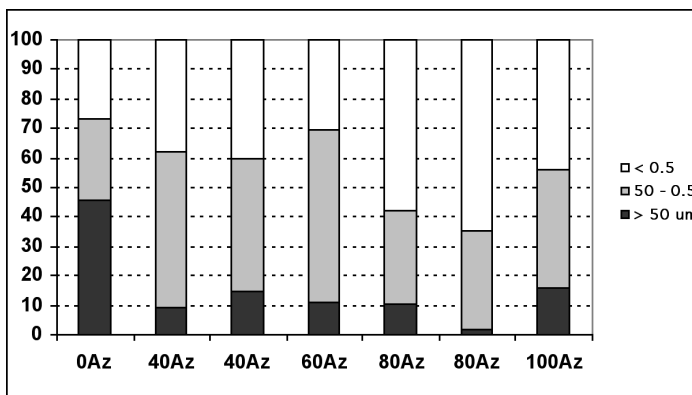
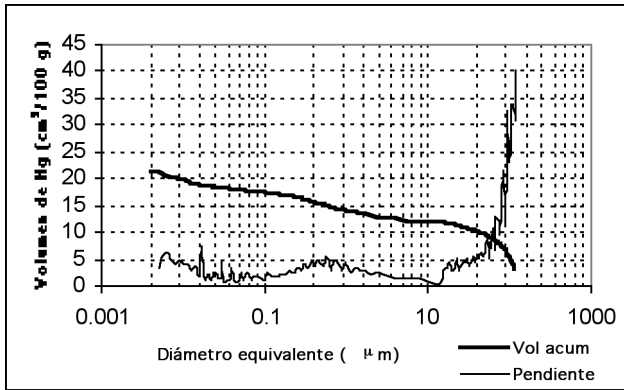
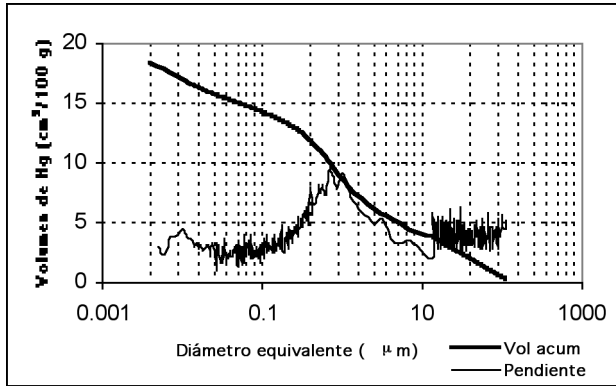


Fig. 2. Distribución porcentual de tamaño de poros en un suelo arrocero de Entre Ríos, Argentina (expresado en % de volumen de poros en relación al volumen total).

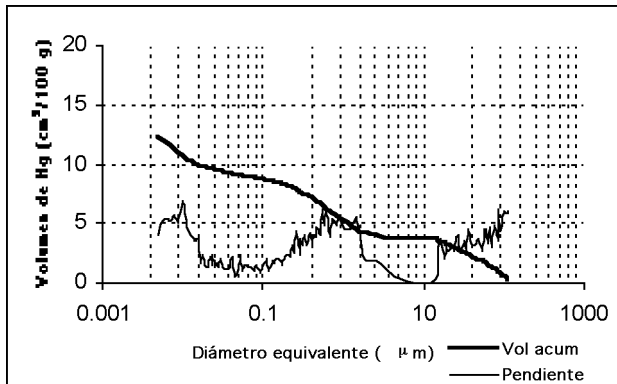




a). 0% Arroz (sin riego-sin arroz)



b). 40% Arroz



c). 100% Arroz

Fig. 3. Curvas de intrusión de mercurio para condiciones con diferente participación en la rotación.

Por otra parte, en las condiciones mayores al 80% de arroz, es la porción de poros residuales la que sufre un incremento considerable, a expensas de los poros mayores, pasando de 27% (condición 2) a 44% y 65%. Este proceso de pérdida de poros mayores presenta importancia agronómica, es resultante del deterioro del suelo y afecta la fertilidad física del mismo (MULLINS *et al.*, 1992).

En las curvas de intrusión de mercurio (Figura 3), se presenta el volumen de poros acumulados y la distribución de frecuencia de los mismos. Puede observarse la reducción de poros  $> 50 \mu\text{m}$  de mercurio en función de la mayor participación de arroz en la rotación. La condición 0 Az, presenta una alta intrusión en poros de 50 a  $100 \mu\text{m}$ , disminuyendo por

debajo de  $5 \text{ cm}^3 100 \text{ g}^{-1}$ , a partir de los  $15 \mu\text{m}$ , recuperándose los niveles desde el  $1 \mu\text{m}$ . La segunda condición (40 Az), aumenta la intrusión en la franja 10 a  $0,7 \mu\text{m}$ , superando los niveles de  $5 \text{ cm}^3 100 \text{ g}^{-1}$ , mientras que con 100% Az, es notablemente baja la intrusión inicial (poros  $> 50 \mu\text{m}$ ) y entre 20 a  $1 \mu\text{m}$ , presentando un pico a los  $0,5 \mu\text{m}$  y a los  $0,1 \mu\text{m}$ .

Asimismo, la disminución de la porosidad total (PT), se debió al aumento del porcentaje de sodio de intercambio ( $\text{PT} = -1,54\text{PSI} + 19,55 \text{ R}^2 = 0,45$ ) y al consiguiente aumento en los niveles de pH ( $\text{PT} = -9,24\text{pH} + 74,61 \text{ R}^2 = 0,51$ ) (Fig. 4). A su vez, la pérdida de porosidad total se reflejó en la caída de los niveles de  $\text{K}_s$  de percolación, existiendo una buena correlación entre ambas variables ( $r = 0,68$ ).

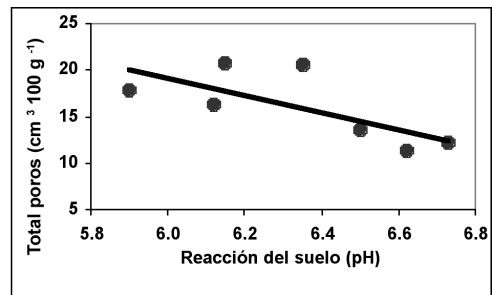
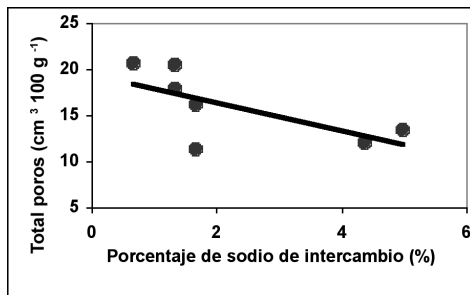


Fig. 4. Porosidad total en relación al PSI y al pH del suelo.

PAZ GONZÁLEZ (2002), mostró que el diámetro equivalente de poros se ve afectado por el menor contenido de materia orgánica, particularmente en los tamaños comprendidos entre  $0,5 \mu\text{m}$  y  $50 \mu\text{m}$ . En el caso del efecto del uso arrocero, no se hallaron relaciones entre la materia orgánica y la porosidad total y tampoco con el nitrógeno total. A su vez, no se observaron buenas correlaciones con las diferentes variables de estabilidad de agregados.

Sin embargo, como se observa en la Fig. 5, se encontró una cierta correlación entre la materia orgánica y la porosidad mayor a  $0,5 \mu\text{m}$  ( $P > 0,5$ ), ( $P > 0,5 = 2,53\text{MO} - 0,47 \text{ R}^2 = 0,36$ ) y una buena correlación entre el sodio de intercambio y  $P > 0,5$  ( $P > 0,5 = -1,79 \text{ PSI} + 14,13 \text{ R}^2 = 0,64$ ). Es decir, en la medida que se pierde materia orgánica y se incrementa el porcentaje de sodio de intercambio, disminuye la suma de porosidad de transmisión y de almacenamiento.

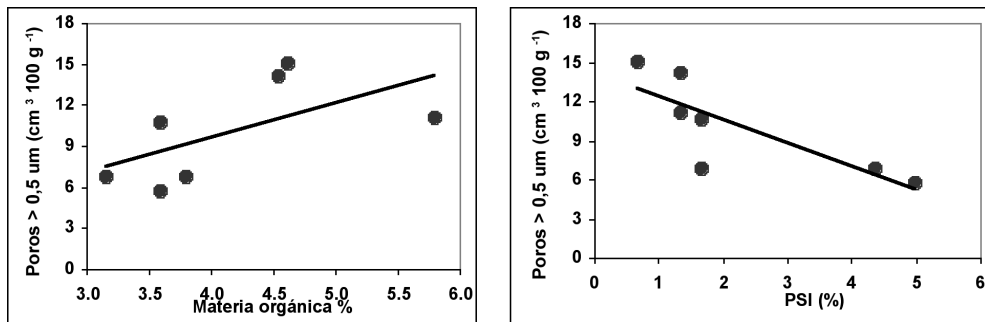


Fig. 5. Relación entre la porosidad de transmisión más la de almacenamiento, con la materia orgánica y el porcentaje de sodio de intercambio.

**CONCLUSIONES**

El incremento en la participación del arroz en las rotaciones determina un aumento del sodio de intercambio y una pérdida de materia orgánica. El primero de los efectos esta vinculado a la utilización de agua bicarbonatada sódica.

Como resultado de la intensificación del cultivo de arroz, el suelo presenta menor estabilidad estructural y una tendencia a acrecentar la debilidad del sistema poroso. A su vez, la porosidad total se ve disminuida y se observa un cambio en la calidad de los poros, con una pérdida de los poros de transmisión y un

aumento relativo en la proporción de poros residuales.

**AGRADECIMIENTOS**

Al Proyecto Manejo del Arrozal, en la persona de su director Ing. Oscar Pozzolo, a los integrantes de los Laboratorios de Suelo FCA UNER y de Edafología, Facultad de Ciencias UDC. Un agradecimiento especial al cuerpo técnico y encargados del Establecimiento San Cristóbal. Este proyecto se llevó a cabo en parte en el marco de un proyecto Araucaria financiado por el MEC, de referencia CGL2005 – 08219 – C02-01 – HID.

*Recibido: 02 / 04 / 2007  
Aceptado: 10 / 06 / 2007*

**BIBLIOGRAFÍA**

- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. (1976). La calidad del agua en la agricultura. *Estudio FAO: Riego y drenaje*. Paper 29. 85 pp.
- BENAVIDEZ, R.A. (1971). *Mecanismo d' action du chaulage*. These Doctorat 3er Cycle Geologie dynamique. Faculte des Sciences de Paris. France. 66 pp.
- BENITO, E.; PAZ, A. & PINI, R. (1991). Aplicación de la técnica de porosimetría por intrusión de mercurio en el estudio de la porosidad de un conjunto de suelos del NW de España. *Suelo y Planta*, 2: 27-42.
- BENITO, E. & DÍAZ-FIERROS, F. (1992). Effects of cropping on the structural stability of soils rich in organic matter. *Soil & Tillage Research*, 23: 153-161.
- CAMERON, K.C. & BUCHAN, G.D. (2002). Porosity and pore size distribution. En: LAL R. (ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc., New York USA. 1031-1034.
- CERANA, J.; POZZOLO, O.; BENAVIDEZ, R.; RIVAROLA, S.; WILSON, M. & DE BATTISTA, J.J. (2004). La determinación de la resistencia mecánica a la penetración para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos. En: FILGUEIRA R. & MICUCCI F. (eds.). *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*. EDULP, La Plata, Argentina. 55-73.
- CONTI, M. (2004). Efectos del uso agrícola sobre suelos vertisólicos. *Revista Científica Agropecuaria*, 8 (1): 31-36.
- COOK, G.D. & MULLER, W. (1997). Is exchangeable sodium content a better index of soil sodicity than exchangeable sodium percentage?: a reassessment of published data. *Soil Science*, 162 (5): 343-349.
- DE BATTISTA, J.J. (2004). Manejo de Vertisoles de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, 8 (1): 37-43.
- DÍAZ, E.; VALENTI, R.; AGUIRRE, C. & SCHIMPF, A. (2002). Aptitud de las aguas subterráneas con destino a riego en la provincia de Entre Ríos. *Actas del XLIX Congreso Nacional del Agua*. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. En CD. 6 pp.
- FIÈS, J.C. & STENGEL, P. (1981). Densité texturale des sols naturels. I. Méthode de mesure. *Agronomie*, 1: 651-658.
- FIÈS, J.C. (1984). Analyse de la repartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette: comparaison entre un modèle d'espace poral et les données fournies par la porosimétrie au mercure. *Agronomie*, 4: 891-899.
- FIÈS, J.C. & BRUAND, A. (1990). Textural porosity analysis of a silty clay soil using pore balance estimation, mercury porosimetry and backscattered electron image analysis (BESI). *Geoderma*, 47: 209-219.
- GREENLAND, D.J. (1977). Soil damage by intensive arable cultivation: temporary or permanent. *Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. B*, 281: 193-208.
- GUPTA, R.K. & ABROL, I.P. (1990). Salt-affected soils: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*, 11: 223-288.
- HENIN, S.; MONNIER, G. & COMBEAU A. (1958). Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 9: 73-92.
- HÉNIN, S.; GRAS, R. & MONNIER, G. (1972). *El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 340 pp.
- IRIONDO, M. (1980). El Cuaternario en Entre Ríos. *Revista Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 11: 125-141.
- JACKSON, M.L. (1976). *Análisis químico de suelos*. Tercera Edición. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 662 pp.
- KAY, B.D. (1990). Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, 12: 1-41.
- LADO, M.; PAZ A. & BEN-HUR, M. (2004). Organic matter and aggregate-size interactions in saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 234-242.
- LE BISSONNAIS, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and eroda-

- bility. I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47: 425-437.
- MAPA (1994). *Métodos Oficinales de análisis de suelos y agua para riego*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación S.G.A. Madrid. Tomo III. 297-306.
- MARSHALL, T.; HOLMES, J. & ROSE, C. (1996). *Soil Physics. Third Edition*. Cambridge University Press. 453 pp.
- MATHIEU, C. & PIELTAIN, F. (1998). *Analyse physique des sols: Méthodes choisies*. Lavoisier Tec. Doc. Paris, London, New York. 275pp.
- MENDIETA, M.; DÍAZ, E.; DUARTE, O. & BARRAL, G. (2003). Evaluación de las extracciones de aguas subterráneas con destino a riego del arroz en la provincia de Entre Ríos. *Actas del III Congreso Nacional de Hidrogeología y I Encuentro Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea*. 21-30.
- MONNIER, G.; STENGEL, P. & FIÈS, J.C. (1973). Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux: application a l'analyse des systèmes de porosité du sol. *Ann. Agron.*, 24: 533-545.
- MORÓN, A. (2003). Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos – pasturas de INIA La Estanzuela, en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). *Simposio 40 años de rotaciones agrícolas – ganaderas*. Uruguay, INIA Serie Técnica ,134: 1-7.
- MULLINS, C.E.; CASS, A.; MAC LEOD, D.A.; HALL, D.J.M. & BLACKWELL, P.S. (1992). Strength development during drying of cultivated flood-irrigated hardsetting soil. II. Trangie soil and comparison with theoretical predictions. *Soil & Tillage Research*, 25: 129-147.
- NYAMUDEZA, P.; HUSSEIN, J. & MATIBIRI B. (2001). Vertisols management in Zimbabwe. En: SYES, J.; PENNING DE VRIES, F. & NYAMUDEZA, P. (eds.). *The sustainable management of Vertisols*. CABI Publishing, U.K. 139-153.
- ORELLANA DE, J. & PILATTI, M. (1994). La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- PAGLIAI, M. & VIGNOZZI, N. (2002). The soil pore system as an indicator of soil quality. En: Sustainable land management- Environmental protection. A Soil physical approach. *Advances in Geo Ecology*, 35: 71-82.
- PAZ GONZÁLEZ, A. (2002). Influence of long-term cultivation on soil physical properties and compaction of an Umbric horizon. En: Sustainable land management- Environmental protection. A Soil physical approach. *Advances in Geo Ecology*, 35: 387-396.
- PAZ GONZÁLEZ, A. & GUÉRIF, J. (1993). Propiedades físicas y mecánicas a escala textural de suelos con cantidades limitadas de materiales hinchables. *Invest. Agr.: Prot. Veg.*, 8(3): 387-410.
- PINI, R.; BENITO RUEDA, E.; PAZ GONZÁLEZ, A. & VIGNA GUIDI, G. (1993). Microporosity in cultivated and uncultivated soils. *Agr. Med.*, 123: 261-266.
- POTTER, K. & GERIK, T. (2001). The Vertisols of Texas. En: SYES, J.; PENNING DE VRIES, F. & NYAMUDEZA, P. (eds.). *The sustainable management of Vertisols*. CABI Publishing, U.K. 267-279.
- RHOADES, J.D.; KANDIAH, A. & MASHALI, A.M. (1992). The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage Paper* N° 48. Rome, Italy. 66 pp.
- RICHARDS, L. (1970). *Suelos salinos y sódicos. Diagnóstico y rehabilitación*. Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultura N° 60. 172 pp.
- RYCROFT, D.W.; KYEI-BAFFOUR, N. & TANTON, T. (2002). RYCROFT, D.W.; KYEI-BAFFOUR, N. & TANTON, T. (2002). The effect of sodicity on the strength of a soil surface. *Irrigation & Drainage*, 51: 339-346.
- SO, H.B. & AYLMOORE, L.A.G. (1993). How do sodic Soils Behave? The effects of sodicity on soil physical behaviour. *Australian Journal of Soil Research*, 31:761-778.

- SO, H.B. & COOK, G.D. (1993). The effect of slaking and dispersion on the hydraulic conductivity of clay soils. En: POESEN, J.W.A. & NEARING, M.A.(eds.). Soil Surface sealing and crusting. *Catena Supplement*, 24: 55-64. Cremlingen, Germany.
- SUMMER, M.E. (1992). The electrical double layer and clay dispersion. En: SUMMER, M.E. & STEWART, B.A. (eds.). *Advances in Soil Science*. Lewis Publishers. Boca Ratón. MI. USA. 372 pp.
- USDA SALINITY LABORATORY STAFF (1954). *Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook 60. US Government Printing Office: Washington, DC.
- USDA (1998). *Key to Soil Taxonomy*, SSS 8th ed. USA, 327 pp.
- WILSON, M.; CERANA, J.; VALENTI, R.; DÍAZ, E.; DUARTE, O.; DE BATTISTA, J.J.; RIVAROLA, S. & BENAVIDEZ R. (2002). Evaluación de la calidad del agua para riego en el área arrocera de Entre Ríos, Argentina. *Cuadernos del CURHAM*, 8 (1): 31-39.
- WILSON, M. (2003). *Efecto del sistema de producción de arroz sobre la calidad del suelo en Entre Ríos, Argentina*. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Río Cuarto. 88 pp.
- WILSON, M. & CERANA, J. (2004). Mediciones físicas en suelos con características vérticas. *Revista Científica Agropecuaria*, 8 (1): 11-22.