

**Estructura y compactación de suelos pampeanos  
cultivados en siembra directa con distintos  
niveles de intensificación**

**Structure and compaction of Pampean  
soils cultivated under no tillage with different  
levels of intensification**

Filipe Behrends Kraemer<sup>1-2\*</sup>  
*filipebk@agro.uba.ar*

Héctor José María Morrás<sup>3</sup>

*\* Autor de contacto*

---

1 Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires,  
2 CONICET.  
3 Instituto de Suelos-CIRN, INTA, Castelar (Argentina).

---

## ÍNDICE CAPÍTULO 13

■ RESUMEN .....	417
■ ABSTRACT .....	418
■ INTRODUCCIÓN .....	419
■ NIVELES DE ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO .....	420
Macroestructura .....	421
Mesoestructura .....	422
Microestructura .....	423
■ EJEMPLO DE ESTUDIO DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS A DISTINTAS ESCALAS.	
CASO BIOSPAS .....	424
Densidad aparente .....	425
Descripción de la macro-meso y micro estructura.....	426
Macro- y mesoestructura .....	426
Microestructura .....	434
■ CONCLUSIONES .....	441
■ BIBLIOGRAFÍA .....	443

## ■ RESUMEN

La intensificación agrícola sustentable, entendida como una mayor cantidad y diversidad de cultivos en la secuencia agrícola, ha surgido como una alternativa de manejo frente a la degradación del suelo. Sin embargo, este tipo de prácticas también conlleva un aumento en el tránsito de la maquinaria agrícola, lo cual conduciría al desarrollo de compactaciones superficiales. La evaluación de la compactación del suelo en una sola escala de análisis estructural o mediante algunos métodos convencionales (e.g. densidad aparente) puede no ser suficiente para apreciar el grado de deterioro en algunos tipos de suelos. En este capítulo se presenta un abordaje multiescalar de la estructura de suelos cultivados en SD en cuatro sitios de la región pampeana con texturas y mineralogías diferentes y con tratamientos de alta y baja intensificación de la secuencia agrícola (secuencias más diversas con uso óptimo de agroquímicos y secuencias tendientes al monocultivo, respectivamente), contrastados con los mismos suelos no cultivados (Haplustol éntico-Serie Gral. Cabrera, Argiudol típico –Serie Monte Buey, Argiudol típico–Serie Pergamino y Hapludert típico-Serie Santiago). Los rasgos morfológicos sintetizados en el índice visual de calidad (Ivc) mostraron efectos positivos en los tratamientos más intensificados, reflejados en una mayor porosidad visible, menor redondez y mayor número de caras y vértices de los agregados del suelo. Los análisis micromorfológicos mostraron estructuras laminares asociadas a poros planares en ambos tratamientos agrícolas; sin embargo se reconocieron rasgos morfológicos diferenciales entre ambos tratamientos, dependiendo de las variables de manejo y del tipo de suelo analizado. Las modificaciones estructurales generadas por la SD presentaron en el Vertisol algunas diferencias respecto a los Molisoles, aun cuando también se comprobaron cambios físicos positivos en el tratamiento más intensificado. En el Argiudol Monte Buey, la mayor proporción de gramíneas en el ciclo agrícola, además de la formación de bioporos por raíces, habría promovido una mayor actividad de la fauna que ha contrarrestado la compresión mecánica vertical producida por el tránsito de maquinaria. Los resultados obtenidos a través de diversas escalas de análisis sugieren que el impacto de la intensidad del tránsito de maquinaria en la compactación del suelo está regulado por el grado de intensificación de la agricultura, así como por el número de años de cultivo bajo siembra directa.

**Palabras clave** | intensificación agrícola sustentable,  
estructura del suelo,  
escalas de análisis.

## ■ ABSTRACT

Sustainable agricultural intensification, understood as a higher quantity and diversity of crops in the agricultural sequence, has been proposed as an alternative management against soil degradation. However, this management also involves the intensification of machinery traffic, which would lead to the development of topsoil compaction. The evaluation of soil compaction in a single scale of structural analysis or by conventional methods (e.g. bulk density) may not be sufficient to assess the degree of deterioration in some soil types. Thus, this chapter presents a multiscale approach to assess soil structure under no-tillage (NT) in four sites of the Pampean region of Argentina with different textures and mineralogies and with high and low intensification of the crop sequence (more diverse sequences with optimal use of agrochemicals and sequences tending to monoculture, respectively), contrasted with the same uncultivated soils (Entic Haplustoll -Gral. Cabrera series, Typic Argiudoll -Monte Buey series, Typic Argiudoll-Pergamino series and Typic Hapludert-Santiago series). The morphological features summarized in the visual quality index (VQI) showed positive effects, including a greater visible porosity, less roundness and greater number of faces and vertices of the soil aggregates, in the most intensified treatments. The micro-morphological analyses showed platy structures associated with planar pores in both agricultural treatments. However, differential morphological features between both treatments were recognized, depending on the management variables and the soil types assessed. The structural modifications generated by NT presented some differences in the Vertisol with respect to the Mollisols, although positive physical changes were also observed in the more intensified treatment. In the Argiudoll Monte Buey series, the greater proportion of cereals in the agricultural period, in addition to the formation of biopores by roots, would have promoted a greater activity of the fauna, which has counteracted the vertical mechanical compression produced by the machinery traffic. The results obtained through various scales of analysis suggest that the impact of the intensity of machinery traffic on soil compaction is regulated by the degree of intensification of agriculture, as well as by the number of years of cultivation under NT.

**Keywords** | sustainable agriculture intensification,  
soil structure,  
analysis scales.

## ■ INTRODUCCIÓN

Los procesos de degradación de suelos en la Región Pampeana han sido consecuencia de numerosos años de agricultura continua bajo labranza convencional (Taboada & Lavado, 2009). En la actualidad, y cuando una gran parte de la región se cultiva en siembra directa, la degradación de las cualidades físicas y químicas de los horizontes superficiales es resultado de secuencias de cultivos poco diversas con predominancia del cultivo de soja (Caviglia & Andrade, 2010; Novelli *et al.*, 2011, 2013; Kraemer *et al.*, 2017a), aumentos en la intensidad de tránsito agrícola (Botta *et al.*, 2007; Álvarez *et al.*, 2014), cambio de uso del suelo realizando agricultura en tierras no aptas para esta actividad (Viglizzo *et al.*, 2011; Kraemer *et al.*, 2013; Vangeli *et al.*, 2016), entre otras causas. La pérdida de materia orgánica, la formación de costras, la compactación de capas de suelos e irregularidades en el crecimiento de los cultivos de granos han sido descritas en muchos trabajos como consecuencias de esta degradación de los suelos (Díaz-Zorita, 1996; Quiroga *et al.*, 1996; Andriulo & Cordone, 1998; Álvarez *et al.*, 2004; Álvarez & Steinbach, 2009; Schmidt *et al.*, 2018).

Como es señalado por algunos autores, a menudo se aplica el término siembra directa (SD) a sistemas sin laboreo pero con baja cobertura del suelo, barbechos largos, alternancia de labranzas convencionales con métodos sin labranza, sumado a la presencia de secuencias de cultivos con una tendencia al monocultivo (Durán *et al.*, 2011; Derpsh *et al.*, 2014; Kraemer *et al.*, 2017a). Si bien la introducción de la SD trajo aparejado algunos aspectos positivos como por ejemplo el incremento de la cantidad y diversidad de la fauna del suelo (Morrás *et al.*, 2001), el aumento de la estabilidad estructural (Álvarez *et al.*, 2012; Kraemer *et al.*, 2017a) entre otras, existen numerosos trabajos que muestran que la SD, cuando no es utilizada como sistema (rotaciones, cobertura permanente, utilización adecuada de insumos, etc.) no siempre resulta adecuada para la calidad del suelo. Así se han reportado diferentes inconvenientes de calidad física bajo este sistema (Barbosa *et al.*, 1997; Cosentino & Pecorari, 2002). Por ejemplo, propiedades del suelo relacionadas a la compactación o al endurecimiento han sido reportadas bajo este manejo (Nesmith *et al.*, 1987; Mahboubi *et al.*, 1993; Chagas *et al.*, 1994; Schmidt *et al.*, 2018). Además, trabajos a campo y en laboratorio han indicado que la agricultura bajo SD promueve la aparición de estructuras laminares en los primeros centímetros del suelo, las cuales son evidencia de procesos de compactación. Este tipo de estructuras pueden traer aparejados diversos inconvenientes asociados con el aumento de la densidad aparente, disminución de la aireación de suelo, erosión y escurrimiento (Kraemer, 2015; Sasal *et al.*, 2010, 2006). Estos inconvenientes resultan exacerbados en suelos limosos, como los que se encuentran en la región Pampeana debido a su baja capacidad de generar macroporos por mecanismos físicos (Stengel *et al.*, 1984; Taboada *et al.*, 2008).

Contrariamente, en esta misma región, otros esquemas productivos bajo SD, asociados a un aumento en la intensificación de la secuencia de cultivos respecto al monocultivo de soja, han mostrado resultados positivos tanto en la porosidad del suelo (Sasal, 2012; Kraemer *et al.*, 2014), como en el balance de carbono y la estabilidad estructural (Studdert *et al.*, 2010; Novelli *et al.*, 2011, 2013; Duval *et al.*, 2013). La intensificación de la secuencia de cultivos, o en términos más amplios, la intensificación agrícola sustentable (Caviglia, 2011) es un paradigma utilizado en los últimos años principalmente en la región pampeana referido a la inclusión más frecuente de cultivos diversos, ya sea de cobertura o para granos, lo cual permitiría mejorar la eficiencia en el uso de la tierra y de otros recursos e insumos. De esta forma se incrementarían los aportes de residuos al balance de carbono en el suelo y se obtendría un concomitante aumento en la actividad biológica del suelo.

Sin embargo, este tipo de prácticas también conlleva un aumento en el tránsito de la maquinaria agrícola, lo cual conduciría a compactaciones superficiales (Wilson *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2014; Duval *et al.*, 2014; Kraemer, 2015), especialmente durante la operación de cosecha (Fernández *et al.*, 2011). También debe mencionarse que la historia de manejo agrícola puede modificar la expresión de distintas propiedades del suelo tales como la densidad aparente y la porosidad. Por ejemplo, suelos bajo SD pueden sufrir una disminución de su porosidad total durante los primeros cinco años de iniciado el sistema (Voorhees & Lindstrom, 1984) o incluso hasta 10-15 años de su inicio (Sasal, 2012), comenzando luego a incrementarse hasta llegar a un estado de equilibrio. Los agregados de estos suelos con el tiempo serían más porosos dado que contienen mayor proporción de restos orgánicos y canales como resultado de la actividad biológica (Morrás *et al.*, 2004; 2012a; Álvarez *et al.*, 2014). En síntesis, como fuera sugerido por Morrás *et al.* (2012a; 2017), la estructura superficial en suelos bajo SD es el resultado de acciones mecánicas de compresión y biológicas de disturbio y reorganización que se contraponen. Por otra parte, todavía están en estudio las alternativas de intensificación que se ajustarían mejor a cada ambiente edafoclimático de la región pampeana.

Por lo expuesto hasta aquí, se desprende que la SD puede ser manejada con diferentes intensidades de uso, secuencias de cultivo, sistemas de tránsito de maquinaria y conjunto de insumos. El resultado de estas combinaciones puede desembocar en modificaciones del suelo muy diferentes, repercutiendo en su estructura y en particular en procesos de compactación. Es habitual que la condición estructural de los suelos sea analizada mediante técnicas indirectas –tales como la densidad aparente o la infiltración– lo que genera información incompleta y puede conducir a problemas de interpretación. Con el propósito de explorar otra vía de estudio, se presenta aquí un ejemplo de utilización de varias escalas de análisis morfológico con el fin de lograr un entendimiento más preciso de los factores físicos, químicos, biológicos y de manejo que intervienen en los procesos de compactación de los suelos cultivados en SD y así desarrollar prácticas agronómicas sostenibles.

## ■ NIVELES DE ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL SUELO

El concepto de estructura, entendido de manera general como la disposición de las partes dentro de un todo, en la Ciencia del Suelo se refiere a la disposición relativa en todas las escalas espaciales de los constituyentes sólidos y de los vacíos que existen entre ellos (Baize y van Oort, 2013). Esa entidad física continua que son los suelos, se la subdivide para su análisis en una serie de subconjuntos o niveles de organización que van desde las megaestructuras (eg. toposecuencias, sistemas pedológicos) hasta las nanoestructuras (e.g. arcillas).

Convencionalmente, cuando se habla de estructura del suelo se sobrentiende la estructura macroscópica o macroestructura, es decir aquella que es observable directamente a ojo desnudo, en un horizonte o perfil. El concepto de estructura a este nivel descriptivo se refiere a la manera en que las partículas elementales (minerales y orgánicas) se unen entre sí formando volúmenes macroscópicos denominados agregados; estos son clasificados en función de su tipo morfológico, del tamaño y del grado de agregación (Schoeneberger *et al.*, 1998; Baize, 2013). En los sistemas descriptivos de la macroestructura, los materiales en los que no se observan unidades morfológicas discretas se consideran “sin estructura”. Por otro lado, el elemento complementario de la formación de agregados que es el desarrollo de espacios vacíos o poros, en estos sistemas no se encuentran incluidos directamente (Morrás, 2015).

Si bien la evaluación de la organización macroestructural de los suelos cultivados aporta información valiosa, la comprensión de la relación entre agregados y poros así como de la evolución de éstos en tiempo y espacio, requiere de otros niveles de análisis. Por un lado, la evaluación individual de las unidades estructurales, lo que se suele denominar la mesoestructura, en función de sus características geométricas y de su porosidad interna mediante distintos instrumentos de observación, permite apreciar detalles que reflejan la dinámica evolutiva de la estructura. Por otro lado, el análisis de la microestructura de muestras de suelo no disturbadas mediante técnicas micromorfológicas incluye tanto la descripción de los agregados como la de los poros intra-agregados e inter-agregados. En particular, y a diferencia de los análisis físicos indirectos, el análisis micromorfológico permite apreciar la gran complejidad del espacio poroso y la real morfología de los poros individuales. El análisis del patrón de poros puede llevarse a cabo también en materiales sin agregación o masivos, tales como capas compactadas. Esta ventaja de poder apreciar ambas fases de la arquitectura del suelo (agregados y poros) en su conformación natural, se haya potenciada por la posibilidad de obtener datos cuantitativos a través de una variedad de técnicas micromorfométricas (Morrás, 2015; Poch, 2015). En consecuencia, en este estudio de la organización estructural de suelos cultivados en siembra directa se ha seguido un procedimiento de evaluación integrada a distintas escalas de observación y análisis.

## Macroestructura

En la Argentina, algunos autores han evaluado los aspectos macroestructurales derivados del cultivo del suelo mediante descripción directa de la estructura (e.g. Morrás & Píccolo, 1998; Morrás *et al.*, 2012b; Álvarez *et al.*, 2014), mediante la descripción del perfil cultural (e.g. De Battista *et al.*, 1994, 1997; Sasal *et al.*, 2016a) y mediante metodologías de evaluación de calidad estructural a campo (Imhoff *et al.*, 2009; Kraemer *et al.*, 2017a).

A partir del método de *perfil cultural*, Gerster & Vidal (1997) observaron un mejor estado estructural en un tratamiento de maíz en SD con respecto a otros sistemas con labranza. Sin embargo, Gerster *et al.* (2003) en el sur de Santa Fe, mencionan que lotes con SD continua -algunos con 20 años-, presentan sectores con una estructura superficial de tipo laminar, que estaría asociada al alto contenido de limo de esos suelos pampeanos. Por su parte, Sasal *et al.* (2006) reportan una estructura laminar en SD visible a simple vista que constituiría la principal restricción al ingreso del agua en el suelo. Esta estructura laminar estaría asociado a la presencia de estructuras densificadas subyacentes a la estructura laminar, las cuales poseen una alta densidad aparente y son fácilmente reconocibles mediante el método de perfil cultural (Sasal *et al.*, 2017a, b). Por otra parte, este método permite evaluar la expresión y heterogeneidad espacial de distintos tipos de estructuras, lo que posibilita cuantificarlas y asociarlas con prácticas de manejo.

Otro método es la evaluación visual de la calidad estructural a campo (VESS – Visual Evaluation of Soil Structure), que tiene la ventaja de ser sencilla y económica (Ball *et al.*, 2007; Peerlkamp, 1959; Shepherd, 2000, 2009). A diferencia del método del perfil cultural, esta técnica, que se aplica mediante la extracción de un monolito con pala, evita la construcción de trincheras en el lote y consume mucho menos tiempo. Mediante el método VESS, Liesh *et al.* (2011) encontraron que la calidad del suelo mejoró en un 57% en situaciones con doble cultivo, mientras que Imhoff *et al.* (2009) obtuvieron buenos resultados en la evaluación de diferentes manejos agrícolas en la región pampeana de Argentina. También en esta región, se han logrado diferenciar distintas intensidades de la secuencia agrícola bajo SD en

diferentes tipos de suelos, desde un Haplustol típico hasta un Hapluderte típico (Kraemer *et al.*, 2017a). Sin embargo, todavía existen dudas debido a la subjetividad y aplicabilidad de la VESS en suelos con diferentes texturas y mineralogías (Askari *et al.*, 2013; Guimarães *et al.*, 2013) y en diversos estados de humedad edáfica (Ball *et al.*, 2007). Si bien esta metodología no contempla su utilización en suelos arcillosos, Guimarães *et al.* (2013) no encontraron influencia de texturas arcillosas y franco-arenosas en los resultados obtenidos con el VESS. También, Mueller *et al.* (2013) mediante métodos visuales, lograron realizar correctas evaluaciones de la calidad del suelo con contenidos de arcillas superiores al 30%. Sin embargo, tanto Guimarães *et al.* (2013) como Mueller *et al.* (2013) trabajaron en suelos con minerales no expansibles. Por otro lado, trabajos recientes utilizando el VESS han analizado la importancia de la ubicación y extensión o continuidad en el perfil de suelo de algunos tipos de estructura para adaptarlas a situaciones bajo SD, incrementado la precisión y validez de dicho tipo de evaluaciones (Kraemer *et al.*, 2017a; Boizard *et al.*, 2017; Sasal *et al.*, 2017a). Así, este tipo de metodologías, son adecuadas para realizar monitoreos rápidos y en grandes extensiones de la localización y grado de desarrollo de estructuras asociadas a la compactación, por lo que está siendo integrado actualmente a planes de monitoreos de calidad del suelo por Embrapa en Brasil (Ralisch *et al.*, 2017) y por el INTA en Argentina (Mórtola, comunicación personal).

## Mesoestructura

La evaluación de la compactación a campo del suelo depende de la correcta evaluación de la morfología de las unidades estructurales (agregados). Los agregados pueden ser descriptos visualmente según su tamaño, forma y porosidad, los cuales presentan cambios importantes dependiendo de las rotaciones y el sistema de labranza utilizado produciendo modificaciones en las interrelaciones del suelo, aire y agua (Carter, 2004). Por ejemplo, este concepto fue tomado en el trabajo de Guimarães *et al.* (2011), en donde se propone el análisis del tamaño y forma de agregado para mejorar la efectividad de índices de calidad estructural como el método VESS.

Algunos autores (Morrás *et al.*, 1999; Olszewski *et al.*, 2004; Álvarez *et al.*, 2008; Cremon *et al.*, 2011) proponen la morfología de agregados como un importante indicador de la estructura y calidad de suelos. En estos trabajos se menciona que la presencia de formas esféricas y la escasa rugosidad de los agregados indican un uso más intensivo del suelo. Morrás *et al.* (1999) y Morrás (2018 ver anexo) pudieron evidenciar a través del análisis de la morfología de agregados cambios en el manejo del suelo, lo cual permitió una interpretación más clara sobre los procesos de degradación y compactación en Ultisoles bajo distintos manejos de yerbales. También Bonel *et al.* (2005) utilizaron la morfología de agregados en el estudio de un Argiudol típico, encontrando diferencias entre situaciones de ambiente natural, labranza reducida y SD. De la misma forma, Baver (1956) consideró que las formas con predominancia del eje horizontal sobre el vertical están ligadas a procesos de compactación del suelo. Utilizando la fórmula poliédrica de Euler, Hartge *et al.* (1999) pudieron distinguir agregados, de distintas profundidades, manejados con y sin labranza mediante la descripción de las caras, aristas y vértices de agregados. Esta metodología sencilla puede relacionarse a los procesos de pedoturbación y compactación por labranzas ya que las mismas destruyen las aristas y vértices de los agregados. Además, la creación de caras por contracción y fuerzas de corte es considerada como un proceso formador de agregados (Hartge *et al.*, 1999). También las evaluaciones morfológicas pueden realizarse mediante análisis de imágenes, siendo este un método eficiente y preciso para evaluar distintos manejos agrícolas (Olsevski *et al.*, 2004). Por

ende, las metodologías asociadas esta escala resultan útiles para evaluar procesos de compactación en SD y efectos de la intensificación agrícola, aunque por el momento son poco utilizadas en Argentina.

## Microestructura

La evaluación de la compactación a escala micromorfométrica permite observar los cambios en la organización y proporción de los componentes del suelo (sólidos y vacíos) y obtener información emergente propia de esta escala. La evaluación descriptiva que permite la micromorfología, se ha potenciado por la posibilidad de obtener datos cuantitativos a través de una variedad de procedimientos, en particular por las técnicas del análisis digital de imágenes (Castiglioni & Morrás, 2007; Poch, 2015). De esta forma se logra integrar el análisis de la porosidad total, con la determinación de la distribución por tamaño, morfología y orientación de los poros. Estos parámetros de la porosidad condicionan muchos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, los que afectan el desarrollo de las plantas, de los microorganismos y de la fauna edáfica (Pagliai & Vignozzi, 2003).

Mediante esta metodología, diversos autores han analizado los efectos del manejo sobre la estructura superficial del suelo (Pagliai *et al.*, 1983, Pagliai, 1987; Shipitalo y Protz, 1987; VandenBygaart *et al.*, 1999; Morrás *et al.*, 2008; Rasa *et al.*, 2012; Morrás, 2014). De esta forma, la evaluación de la macroporosidad a partir del número de poros, distribución de tamaño, orientación y forma de dichos poros han sido utilizados para evaluar procesos de compactación y movimiento de agua (Kutílek, 2004; Morrás *et al.*, 2008; Pires, 2017), para comparar efectos de la maquinaria sobre la compactación (Pagliai *et al.*, 1984; Vandenbygaard *et al.*, 1999; Álvarez *et al.*, 2014), influencia del pisoteo animal (Fernández *et al.*, 2012; Rasa *et al.*, 2012) entre otros.

Shipitalo & Protz (1987), en un Cambisol de Ontario, Canadá, cultivado en SD durante 7 años, señalan la aparición de una microestructura laminar y la tendencia de los poros a orientarse paralelamente a la superficie del suelo. Estos autores encontraron una reducción de casi el 50% de la macroporosidad en el horizonte Ap en relación al suelo laboreado, la que sería compensada desde el punto de vista funcional por el importante incremento de bioporos. Drees *et al.* (1994) (suelo Maury de Kentucky con 18 años bajo SD) identifican en los 5 cm superiores del suelo tres zonas diferentes en sus características morfológicas, resaltando en particular la fuerte estructura laminar, con poros alargados orientados horizontalmente, los que aparecen interconectados por poros biológicos.

En la Argentina, Bonel & Morrás (2000), Morrás *et al.* (2004), Morrás y Bonel (2005), Bonel *et al.* (2005) y Álvarez *et al.* (2014) realizaron análisis micromorfológicos en diversos suelos bajo SD de la región pampeana norte. En todos estos casos se encontraron rasgos comunes en los primeros centímetros del suelo, tales como la marcada anisotropía vertical de la estructura y la alta frecuencia de poros planares, poniendo de relieve además una gran variabilidad horizontal en la morfología y evolución de poros y agregados, dando lugar al reconocimiento de distintos modelos microestructurales en los suelos cultivados en SD los cuales aportan información sobre los procesos de compactación (Morrás *et al.*, 2012a; 2017).

■ EJEMPLO DE ESTUDIO DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS A DISTINTAS ESCALAS. CASO BIOSPAS

En el marco del proyecto BIOSPAS (Wall *et al.*, 2011), y a partir de un abordaje multiescalar, se caracterizó la estructura de suelos cultivados en SD en cuatro sitios de la región pampeana con texturas y mineralogías contrastantes (tres Molisoles y un Vertisol con mineralogías illíticas y esmectítica, respectivamente). Se identificaron procesos de compactación y densificación del suelo tanto en manejos con alta intensificación de la secuencia agrícola (secuencias más diversas, uso óptimo de agroquímicos): **+ int**: más intensificados; como con baja intensificación (secuencias tendientes al monocultivo): **- int** : menos intensificados. También en cada sitio se evaluó un ambiente natural (AN) sin historia agrícola, aledaña a los tratamientos agrícolas. Detalles de los suelos, secuencias de cultivos e índices asociados a dicha secuencia se presentan en la **Tabla 1A** y **B** y **Figura 1**. Numerosos análisis físicos, químicos, mineralógicos y biológicos fueron realizados en estos suelos y tratamientos, algunos de cuyos resultados fueron reportados en Castiglioni *et al.* (2013) y Kraemer *et al.* (2017a, 2017b).

**Tabla 1A:** Características de los suelos evaluados, serie, coordenadas geográficas, textura y mineralogía de arcillas (E+ I/E: esmectitas + interestratificados illita/esmectita); **B:** Secuencias de cultivos, características de manejo y rendimientos de los tratamientos + intensificado y - intensificado para los distintos suelos evaluados para el período 2004 – 2010.

**Table 1A:** Soil characteristics, series, geographical coordinates, texture and clay mineralogy (E + I / E: smectites + interstratified illite / smectite); **B:** crops sequence, management characteristics and yields of the + and – intensified treatments for the different soils evaluated in the period 2004-2010.

**A**

Haplustol éntico	Argiudol típico	Argiudol típico	Hapludert típico
Serie General Cabrera	Serie Monte Buey	Serie Pergamino	Serie Santiago
33° 01' 31" S; 63° 37' 53" O	32° 58' 14" S; 62° 27' 06" O	33° 56' 36" S; 60° 33' 57" O	31° 52' 59,6" S; 59° 40' 07" O
franco arenosa	franco limosa	franco limosa	arcillo limoso
Illita (I): 64,0 E + I/E: 26,8	Illita (I): 68,8 E + I/E: 22,6	Illita (I): 68,4 E + I/E: 20,4	Illita (I): 30,1 E + I/E: 67,0

**B**

Sitio/ Periodo	Haplustol		Argiudol - Monte Buey		Argiudol - Pergamino		Hapludert	
	+ intensificado	- intensificado	+ intensificado	- intensificado	+ intensificado	- intensificado	+ intensificado	- intensificado
2004/2005	Trigo/soja	Maní	Trigo/ Sorgo	Soja de 1°	Soja de 1°	Soja de 1°	Trigo/soja	Maíz
2005/2006	Maíz	Trigo/soja	Maíz	Trigo/ Soja	Trigo/soja	Soja de 1°	M+RG/Maíz	Soja de 1°
2006/2007	Trigo/soja	Soja de 1°	Trigo/ Soja	Maíz	Maíz	Soja de 1°	Soja de 1°	Trigo/soja
2007/2008	Vicia/maíz	Trigo/soja	Vicia/Maíz-Soja	Soja de 1°	Soja de 1°	Soja de 1°	Trigo/soja	Maíz
2008/2009	Trigo/soja	Soja de 1°	Maíz	Soja de 1°	Trigo/soja	Soja de 1°	Maíz	Soja de 1°
2009/2010	Soja de 1°	Soja de 1°	Trigo/ Soja	Soja de 1°	Maíz	Soja de 1°	Soja de 1°	Soja de 1°
Años bajo SD	13	5	28	10	6	5	13	9
Soja único cult. (%)	17	50	0	66	33	100	33	50
ISI <sup>a</sup>	0,67	0,53	0,64	0,49	0,56	0,42	0,59	0,5
Soja/Cultivos <sup>b</sup>	0,40	0,62	0,28	0,75	0,5	1,0	0,44	0,57
Maíz/Cultivos	0,20	0	0,30	0,14	0,25	0	0,22	0,28
Soja/Maíz <sup>c</sup>	4	5	1	5	2	6	2	2
Inviernos con CC (%) <sup>d</sup>	20	0	40	0	0	0	20	0
Herbicida utilizado (L) <sup>e</sup>	27,7	43,8	25,2	38,9	29,3	46,5	34,5	43,1
Rendimiento Soja (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>f</sup>	3067	2775	3167	2675	2933	2825	3000	1805
Rendimiento Maíz (kg ha <sup>-1</sup> )	10500	-	12550	8000	9500	-	7030	3450

<sup>a</sup> Relación entre el n° meses ocupado por cultivos/ total de meses por año <sup>b</sup> N° cultivos de soja / cultivos totales <sup>c</sup> N° cultivos de soja / N° cultivos de maíz <sup>d</sup> % de inviernos con cultivos de cobertura <sup>e</sup> Calculado como litros de herbicidas de baja toxicidad más litros de herbicidas de alta toxicidad ponderado por dos. La toxicidad fue definido de acuerdo a las categorías de toxicidad de EPA (Figuerola *et al.*, 2012) <sup>f</sup> Rendimientos del último cultivo de soja y maíz correspondiente a lapso evaluado. †Melilotus + Raygrass

\* 1

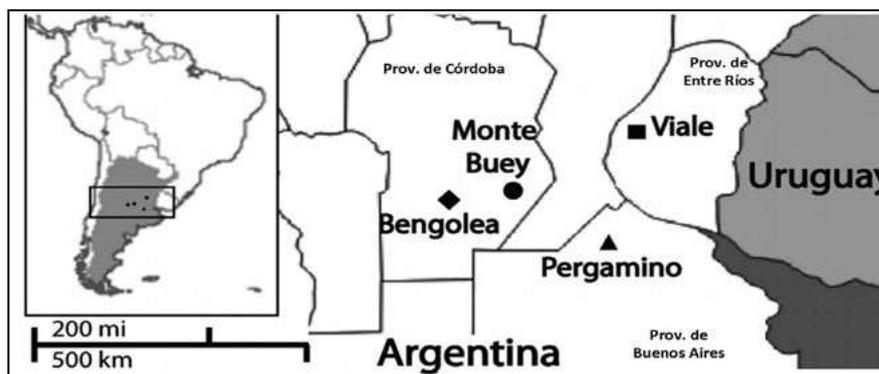
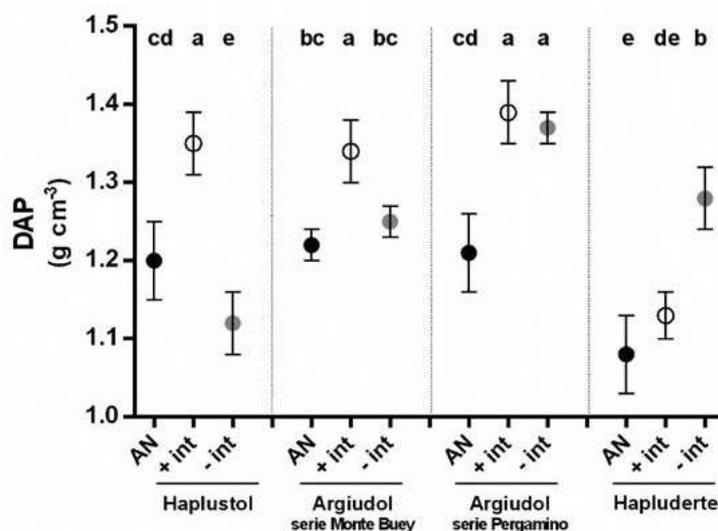


Figura 1: Localización geográfica de los suelos estudiados.

Figure 1: Geographical location of studied soils.

### Densidad aparente

Para los Molisoles estudiados, se observó una mayor densidad aparente en el estrato 0-20 cm de los tratamientos más intensificados (+ int > - int > AN con valores de 1,32, 1,25 y 1,18 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente) **Figura 2** . El estrato superficial (0-5 cm) presentó los menores valores de DAP (1,22 g cm<sup>-3</sup>) diferenciándose significativamente de 5-10 cm y 10-20 cm. El Vertisol presentó un ordenamiento diferente al resto de los suelos **Figura 2** . En este suelo los valores de DAP del AN resultaron levemente inferiores a + int, mientras que el tratamiento - int presentó los valores más altos, diferenciándose estadísticamente de los otros tratamientos. No obstante, este ordenamiento estuvo directamente asociado con el contenido de minerales expansibles. Dado el efecto regenerador de estructura de estos minerales, en este caso, la densidad aparente posee un valor menor como indicador de compactación.



**Figura 2:** Densidad aparente (DAP) para los tratamientos de manejo AN (Ambiente Natural), + int y - int (más y menos intensificado respectivamente) para los distintos suelos evaluados (Haplustol, Argiudol –Monte Buey, Argiudol –Pergamino- y Hapluderte) para el estrato 0-20 cm. Letras diferentes expresan diferencias significativas para la interacción tratamiento\*suelo (Tukey, P<0,05).

**Figure 2:** Bulk density (BD) for the management treatments AN (Natural Environment), + int and - int (more and less intensified, respectively) for the different soils (Haplustoll, Argiudoll-Monte Buey, Argiudoll-Pergamino- and Hapluderte) for 0-20 cm layer. Different letters express significant differences for treatment \* soil interaction (Tukey, P <0.05).

En contraposición, en los suelos con mayor intensificación se encontró: mayor contenido de carbono orgánico total y particulado, mayor estabilidad estructural, menor escurrimiento determinado por simulación de lluvias, una actividad biológica más intensa y una estructura microbiana más diversa (Figuerola *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2014; Duval *et al.*, 2015; Kraemer, 2015; Kraemer *et al.*, 2017a, b). Esto se tradujo en mayores rendimientos de los cultivos en secuencias intensificadas con respecto a las secuencias menos intensificadas, aun cuando estas últimas presentaron una menor densificación del suelo. Esta aparente contradicción pone en cuestión el valor de la densidad aparente como indicador del estado de salud del suelo y de su influencia en el desarrollo vegetal.

## Descripción de la macro-meso y micro estructura

La falta de coincidencia entre los datos de densidad aparente del suelo con otros parámetros físicos y la respuesta de los cultivos sugiere que esta manera indirecta de evaluar la porosidad total no es suficiente para dar cuenta de la complejidad de la organización de poros en términos de tamaño, forma y distribución, características estas que condicionan la dinámica hídrica y la actividad biológica del suelo. Consecuentemente, se ha considerado que una mejor evaluación del problema planteado sería a través de un análisis multiescalar de la estructura del suelo mediante distintas metodologías que permitan evaluar los procesos de compactación y regeneración del suelo para cada situación estudiada. Los métodos utilizados en este trabajo están listados en la **Tabla 2**.

**Tabla 2:** Métodos de evaluación morfológica utilizados en este trabajo.

**Table 2:** Methods of morphological evaluation employed in this work.

Método	Escala	Tipo de determinación	Sigla/variables	Referencia
Macroestructura (agregados)	Macro-escala	Campo	Forma-tamaño-desarrollo	Schoeneberger <i>et al.</i> , 1998 Baize y Jabiol, 2011
Evaluación Visual de la Estructura del Suelo (VESS)	Macro-escala	Campo	Ivc – índice visual de calidad 1-5	Ball <i>et al.</i> , 2007
Porosidad visible - Redondez	Meso-escala	Laboratorio	Pv, Rd	Kraemer <i>et al.</i> , 2017a
Morfología tridimensional de agregados	Meso-escala	Laboratorio	Caras, Aristas, Vértices	Hartge <i>et al.</i> , 1999
Microscopía electrónica de barrido	Micro-escala	Laboratorio	-	-
Micromorfología / Micromorfometría	Micro-escala	Laboratorio		Stoops (2003). Loaiza <i>et al.</i> (2015)

## Macro- y mesoestructura

Para los tres Molisoles y el Vertisol se evaluó la estructura del horizonte superficial del suelo en los dos niveles de intensificación agrícola y el ambiente natural aplicando el método VESS y los criterios de macroestructura a campo.

En el Haplustol (Bengolea), los monolitos del AN presentaron isotropía vertical hasta los 15 cm, con una estructura granular fina muy débil y grano suelto **Figura 3A**. Estos tendieron a permanecer intactos al retirarse con la pala principalmente por efectos de las raíces de gramíneas presentes en todo su volumen. No se observaron capas endurecidas en profundidad. Debido a esto, los monolitos mostraron

muy poca resistencia a la desagregación. Las raíces se encontraron en posiciones inter e intra-agregados. En los agregados de tamaño 1 a 5 cm **Figuras 4** y **5** se puede observar la importante cantidad de raíces presentes y cómo dichas raíces los envuelven.

Los monolitos **+ int** presentaron tres capas que se diferenciaron muy bien en el momento de la extracción **Figura 3A**. De 0 a 5 cm, en el sector más superficial se observó una estructura mixta de grano suelto y débilmente granular, en tanto en la parte inferior de esta capa se observa abundante presencia de raíces sobre estructuras laminares débiles y discontinuas. En el estrato 5-10 cm se observó una capa compactada con presencia de bloques subangulares de clase gruesa y de grado moderado con baja presencia de raíces, las cuales se desarrollan entre agregados. Para la profundidad 10-15 cm se encontró una disminución del tamaño de los agregados formando pequeños bloques subangulares de poco desarrollo y muy débiles. La distribución y abundancia de las raíces fueron similares a la capa anterior. Si bien se pudo distinguir porosidad visible en los agregados de estas tres capas (diámetro de los 50 mayores poros determinado por evaluación de imágenes), fue menor a la encontrada en AN **Figuras 3B** y **4**.

La extracción de los monolitos del tratamiento **- int** presentó menor resistencia, con un plano de debilidad muy neto entre los 3 y 5 cm **Figura 3C**. La capa superficial presentó un bajo desarrollo estructural con pocos agregados estables los que rompían muy fácilmente. A partir de este límite se encontraron agregados de diversos grados de desarrollo y clase. También se encontraron estructuras laminares, si bien estas eran más débiles y discontinuas en comparación con el tratamiento **+ int**. Las raíces se distribuyeron uniformemente en todo el monolito, sin embargo, la mayoría consistía en raíces muy finas, poco visibles. Los agregados de este tratamiento presentaron baja porosidad visible **Figuras 4** y **5**.

Con respecto al Argiudol (Monte Buey), en el tratamiento AN se obtuvieron monolitos con una estructura granular en superficie (0-5 cm) por debajo de la cual se observa una estructura de bloques subangulares medios con desarrollo moderado **Figura 3D**. La abundancia de las raíces estuvo restringida a los primeros 5 cm y luego disminuyó abruptamente.



**Figura 3:** Fotografías de los monolitos evaluados para la combinación suelo-tratamiento (Ambiente natural -AN-; más intensificado (+ int) y menos intensificado (- int). **A-B-C:** corresponden al Haplustol y a los tratamientos AN, + int y - int respectivamente

**Figure 3:** Photographs of the monoliths evaluated for the soil-treatment combination (Natural environment -AN-, more intensified (+ int) and less intensified (- int). **A-B-C:** correspond to the AN, + int and - int treatments, respectively, of the Haplustoll



Los monolitos de **+int** presentaron también una anisotropía vertical muy marcada **Figura 3E** . La extracción de los monolitos no revistió dificultad. Los primeros 5 centímetros presentaron una estructura granular continua bien desarrollada con importante presencia de agregados biogénicos y abundantes raíces. Vaquero (2011) encontró también agregados biogénicos en este mismo sitio. A partir de los 5 cm se observó una capa compactada con una importante disminución de raíces. Se advirtieron estructuras laminares débiles yuxtapuestas con bloques subangulares medios de desarrollo moderado **Figura 3E** . No obstante, se pudo observar una porosidad importante en los agregados. A partir de los 10 cm desaparecen estas estructuras laminares incipientes para dar lugar a bloques subangulares de mayor tamaño. En general (0-15 cm) la porosidad visible fue alta mientras que la presencia de raíces no fue tan alta como se esperaba para este tratamiento **Figuras 4** \*1 y **5** \*1.

Los monolitos de **-int** presentaron una capa superficial muy delgada (~1 cm) con grano suelto con una luminosidad alta (acorde a la Tabla Munsell) y presencia moderada de raíces **Figura 3F** . A partir de esta capa se observaron terrones de clase gruesa que rompieron en forma horizontal creando estructuras laminares de gran espesor. Si bien estos terrones son conspicuos en toda la capa (2-15 cm) aparecían con mayor frecuencia a 5 cm de profundidad **Figura 3F** . En todo el monolito la presencia de raíces fue escasa y la misma estuvo restringida a posiciones interagregados. La porosidad visible de los agregados fue muy baja **Figura 4** \*1 y **5** \*1.

#### *Argiudol (Pergamino)*

Los monolitos del tratamiento AN permanecieron intactos en la pala observándose una importante cohesión de los mismos **Figura 3G** . Se encontró una mezcla de estructura granular y de bloques subangulares finos de desarrollo moderado aumentando su proporción en profundidad **Figura 3G** . Algunas réplicas presentaron estructuras más cohesivas y de mayor tamaño en posiciones superficiales. De la misma forma, el tamaño y frecuencia de raíces disminuyó en profundidad, encontrándose en posiciones intra e interagregados. Los agregados de este tratamiento presentaron una porosidad visible alta **Figura 4** \*1 y **5** \*1.

**Figura 3:** Fotografías de los monolitos evaluados para la combinación suelo-tratamiento (Ambiente natural -AN-, más intensificado (+ int) y menos intensificado (- int). **D-E-F:** Argiudol-Monte Buey y tratamientos AN, + int y - int;

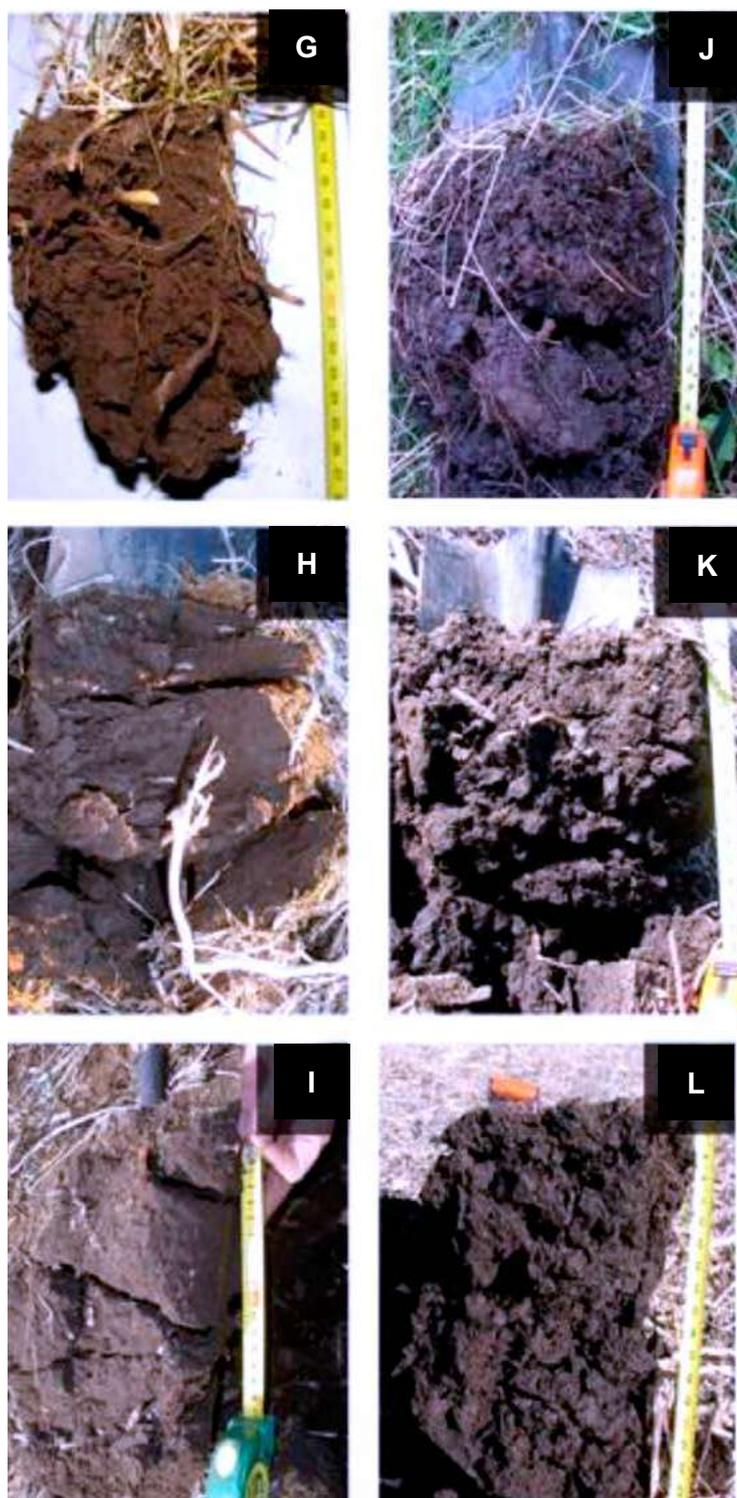
**Figure 3:** Photographs of the monoliths evaluated for the soil-treatment combination (Natural environment -AN-, more intensified (+ int) and less intensified (- int). **D-E-F:** Argiudoll - Monte Buey and treatments AN, + int and - int.

El tratamiento + *int* presentó dos capas diferenciadas. En la capa 0-4/5 cm: mezcla de estructura granular en superficie y bloques subangulares finos de desarrollo moderado **Figura 3H** . En el límite inferior de esta capa se pudo observar una importante frecuencia de estructuras laminares de diferente clase y grado. La presencia de este tipo de estructura fue mayor cerca de la cabecera del lote sometido a un mayor tránsito de maquinarias. En profundidad aparecieron agregados de mayor desarrollo y tamaño, y se hizo menos frecuente la estructura laminar. En toda la extensión del monolito, la abundancia de raíces fue de intermedia a escasa **Figura 3H**  y **4**  <sup>\*3</sup>.

Los monolitos del tratamiento de - *int* presentaron poca dificultad de extracción con una estructura granular muy fina y débil. A partir de los 4 ó 5 cm se encontró a una estructura compacta que rompía a bloques subangulares finos y débiles **Figura 3I** . La presencia de estructuras laminares fue baja, con escaso desarrollo y discontinua. La abundancia de raíces fue similar a + *int*. La porosidad visible de los agregados fue muy baja. **Figura 4**  <sup>\*3</sup> y **5**  <sup>\*2</sup>.

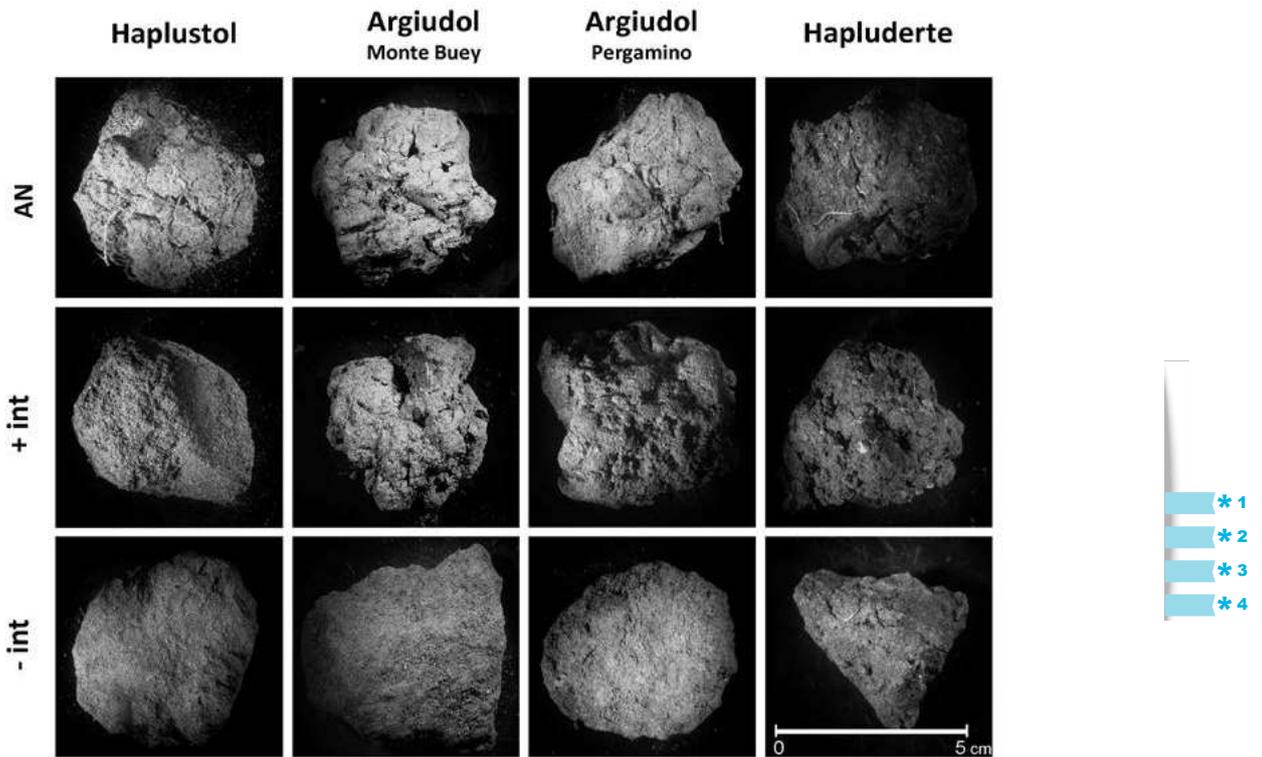
#### Hapludert (Viale)

En todos los tratamientos se observó una estructura grumosa con escasa diferenciación en profundidad **Figuras 3J-K-L** . Sin embargo los primeros centímetros (0-5 cm) de AN y del tratamiento + *int* presentaron agregados de menor tamaño en relación a - *int*. La cantidad de raíces disminuyó desde el AN a - *int*, sin distinción evidente entre + *int* y - *int*. En general la porosidad visible fue mayor en AN y + *int* **Figuras 4**  <sup>\*3</sup> y **5**  <sup>\*2</sup>.



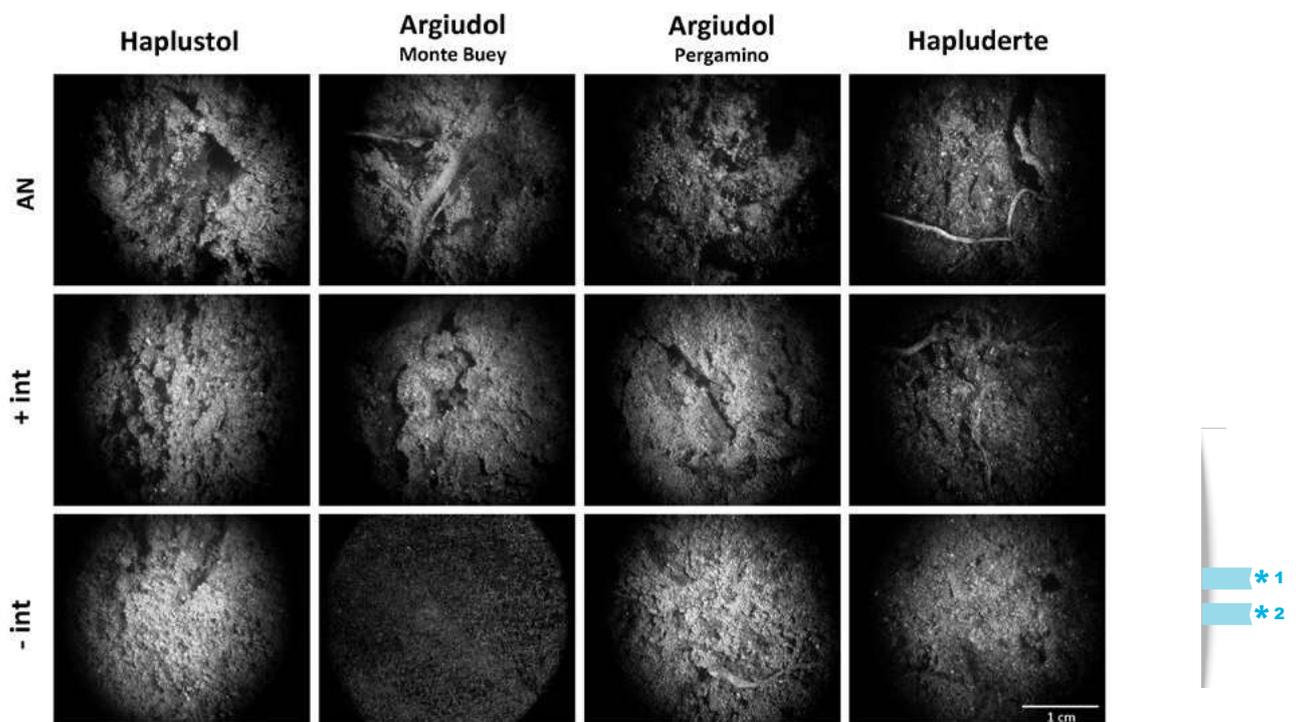
**Figura 3:** Fotografías de los monolitos evaluados para la combinación suelo-tratamiento (Ambiente natural -AN-; más intensificado (+ *int*) y menos intensificado (- *int*). **G-H-I:** Argiudoll-Pergamino y tratamientos AN, + *int* y - *int*; **J-K-L:** Hapludert y tratamientos AN, + *int* y - *int*, respectivamente.

**Figure 3:** Photographs of the monoliths evaluated for the soil-treatment combination (Natural environment -AN-, more intensified (+ *int*) and less intensified (- *int*). **G-H-I:** Argiudoll - Pergamino and treatments AN, + *int* and - *int*; **J-K-L:** Hapludert and AN treatments, + *int* and - *int*, respectively.



**Figura 4:** Fotografías de agregados de 1-5 cm (microscopía óptica, Wild MZ8 Leica) para la combinación suelo-tratamiento: ambiente natural (AN), más intensificado (+ int) y menos intensificado (- int).

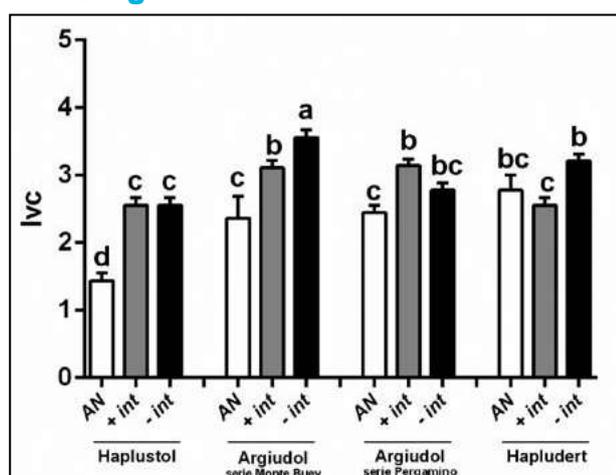
**Figure 4:** Photographs of aggregates of 1-5 cm (optical microscopy, Wild MZ8 Leica) for the soil-treatment combination: natural environment (AN), more intensified (+ int) and less intensified (- int).



**Figura 5:** Fotografías de agregados de 1-5 cm (x5) (microscopía óptica, Wild MZ8 Leica) para la combinación suelo-tratamiento : ambiente natural (AN), más intensificado (+ int) y menos intensificado (- int).

**Figure 5:** Photographs of aggregates of 1-5 cm (x5) (optical microscopy, Wild MZ8 Leica) for the soil-treatment combination : natural environment (AN), more intensified (+ int) and less intensified (- int)

A partir del análisis detallado de campo y de las fotografías tomadas de cada monolito y de los agregados extraídos de los mismos se calculó el Ivc (Índice visual de calidad; rango 1-5) para la combinación suelo-tratamiento de manejo. Valores altos indican menor calidad estructural. Los Molisoles cultivados bajo SD presentaron valores más altos con respecto a la situación natural indicando una situación estructural más pobre **Figura 6** . En los tratamientos agrícolas de estos suelos se encontraron diferencias significativas entre **+ int** y **- int** en el Argiudol -Monte Buey y en el Hapludert, presentando el tratamiento **- int** valores más altos. En general, se observaron menores valores de Ivc en el Haplustol, siendo AN el tratamiento con Ivc más bajo. En contraposición, la situación **- int** del Argiudol- Monte Buey presentó el valor más alto, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos de todos los suelos **Figura 6** .



**Figura 6:** Índice visual de calidad (Ivc) para el Haplustol, Argiudol (Monte Buey), Argiudol (Pergamino) y Hapludert para los tres manejos evaluados: Ambiente natural (AN), más intensificado (+int) y menos intensificado (- int). Menores valores indican una mejor calidad estructural. Letras diferentes expresan diferencias significativas para la interacción tratamiento\*suelo (Tukey,  $P < 0,05$ ).

**Figure 6:** Visual quality index (Ivc) for the Haplustoll, Argiudoll (Monte Buey), Argiudoll (Pergamino) and Hapludert for the three management evaluated: Natural environment (AN), more intensified (+ int) and less intensified (- int). Lower values indicate better structural quality. Different letters express significant differences for the treatment \* soil interaction (Tukey,  $P < 0.05$ ).

En relación a los valores de Ivc por estrato, se pudo observar un aumento en profundidad para todos los sitios y para los tratamientos AN y **+ int**, siendo esta tendencia menos pronunciada en el Hapludert. Por otro lado, en **+ int** y **- int** de los Argiudoles y el Haplustol se observaron mayores valores de Ivc ( $\cong 4$ ) para la profundidad 5-10 cm, estando directamente relacionado a la presencia de estructuras laminares (continuas, discontinuas, débiles o fuertes).

Esta metodología resume numerosos rasgos estructurales (tipo de estructura, ubicación y abundancia de raíces, porosidad visible, síntomas de baja aireación, etc.) los cuales permiten una mejor interpretación de los efectos de manejo sobre la estructura del suelo. Esas características se relacionan con el crecimiento vegetal y los servicios ambientales. En este ejemplo, el Ivc se asoció significativamente con el tiempo de permanencia de raíces vivas en el lote **+ int** ( $r: -0,64$ ,  $P < 0,01$ ) y con la estabilidad estructural (DMP<sub>inmersión rápida</sub>,  $r: -0,74$ ,  $P < 0,001$ ); Por su parte, los Molisoles estuvieron condicionados por el contenido de limo ( $r: 0,60$ ,  $P < 0,01$ ).

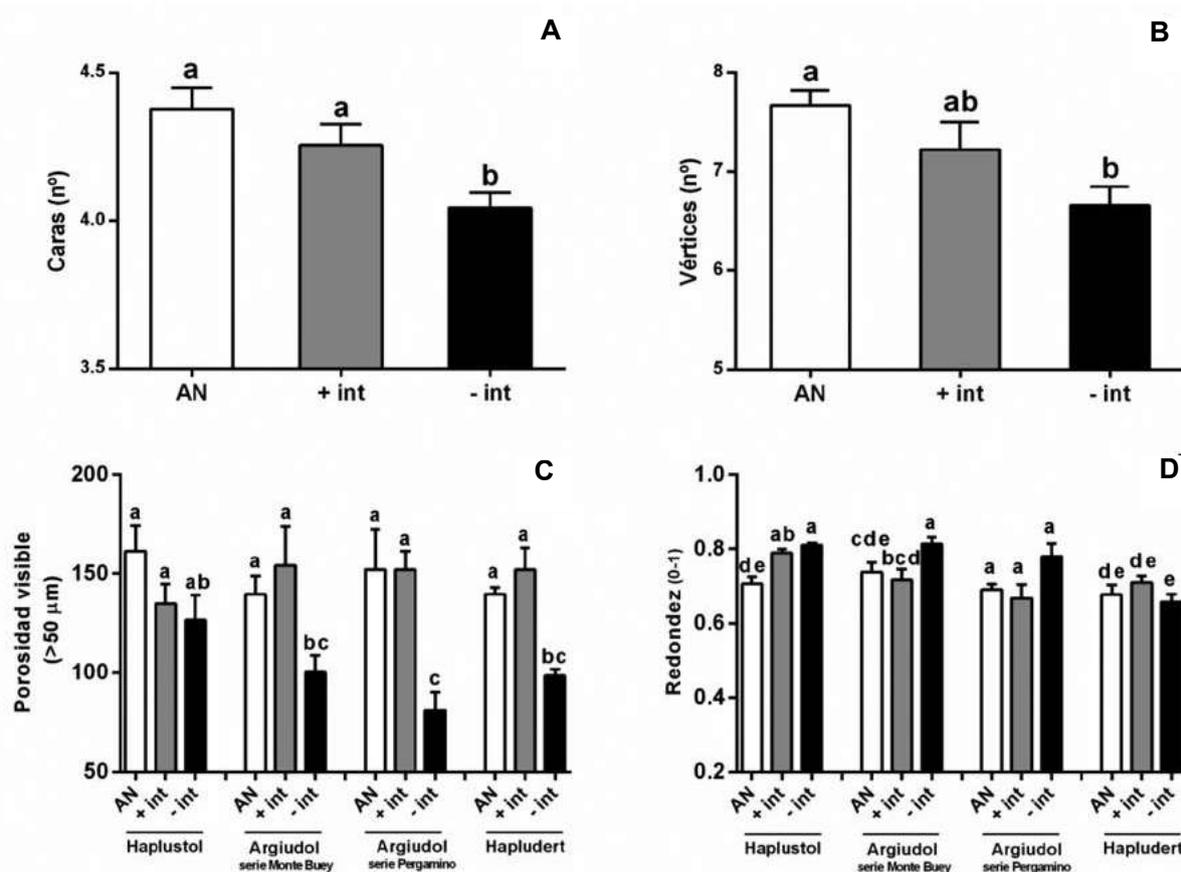
No obstante, cuando se analiza al Ivc como metodología para evaluar la estructura y la compactación surgen algunos aspectos a considerar. El primero consiste en la utilidad de su aplicación en la región Pampeana. En la metodología Ivc el peor puntaje es de 5, estando destinado a suelos con síntomas de anaerobiosis, en tanto la presencia de estructura laminar es consignada con un puntaje de 4. Como fuera señalado por diversos autores (Morrás *et al.*, 2004; Sasal *et al.*, 2006) en los suelos cultivados en SD de la región pampeana la estructura laminar es cada vez más frecuente. Sin embargo, la asignación de un puntaje de 4 para estos suelos no necesariamente se corresponde con las condiciones físicas en relación al desarrollo vegetal.

Esta misma cuestión fue señalada por Cavalieri *et al.* (2009), quienes resaltan que dichas estructuras no siempre conllevan a un estado estructural crítico, siendo estos suelos más productivos que lo predi-

cho por la evaluación estructural. En este sentido cobra importancia la localización de dicha estructura. Con esta metodología si bien se analiza y cuantifica el tipo de estructura por su espesor, el valor final es resultado del promedio de estos espesores. De la misma forma que lo expuesto por Guimarães *et al.* (2011) este índice se enriquecería mediante su cálculo por estrato. En los casos aquí estudiados existió un aumento de Ivc en profundidad, lo cual era esperable debido a la estratificación de la materia orgánica bajo SD y la disminución de la actividad biológica en profundidad. Por el contrario en el Hapludert -con características más isotrópicas debido a la cantidad y tipo de arcillas - esta tendencia no fue tan marcada.

Las diferencias de macroestructura discutidas aquí reflejan también los rasgos de los agregados que la componen. En esta escala, el estudio de la porosidad visible y de la forma de los agregados fue útil para describir los efectos de la intensificación de la secuencia agrícola.

La **Porosidad Visible**, la cual también forma parte de la metodología de Ivc, permitió diferenciar 3 de los 4 suelos **Figura 7C** presentando el mayor componente de varianza de las variables presentadas en este ejemplo. La ausencia de diferencias significativas entre **+ int** y **- int** del Haplustol puede ser explicada por el alto contenido de arena y alta porosidad textural de dichos suelos y por haberse incluido en una campaña el cultivo de maní en la secuencia **- int** (Kraemer *et al.*, 2014).



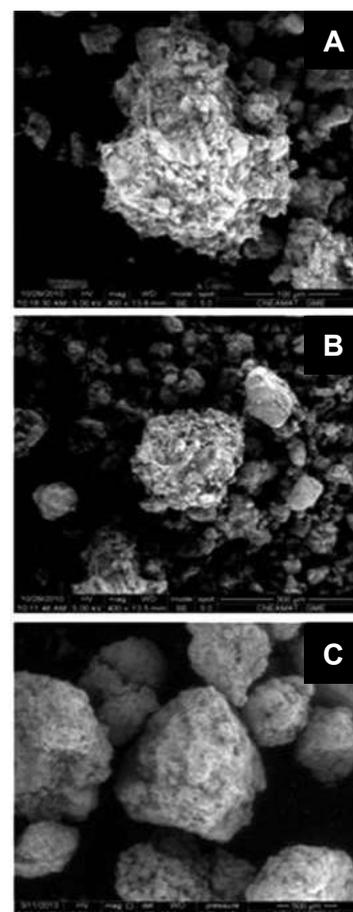
**Figura 7A:** Número de caras de agregados y **B:** Número de vértices de agregados correspondientes al modelo mixto simplificado para los tres manejos evaluados (Ambiente natural – AN, más y menos intensificado (+ y – *int*)). Letras diferentes expresan diferencias significativas entre tratamientos **C:** Porosidad visible (>50 μm) y **D:** Redondez para la combinación suelo-tratamiento (Tukey, P<0,05).

**Figure 7A:** Number of aggregates faces and **B:** Number of aggregates vertices corresponding to the simplified mixed model for the three evaluated management (Natural environment - AN, more and less intensified (+ and - *int*) - Different letters express significant differences between treatments **C:** Visible porosity (>50 μm) y **D:** Roundness for the combination soil-treatment. (Tukey, P <0.05).

En relación a la **Redondez** de los agregados, el aumento del valor de esta variable estuvo claramente asociado al tratamiento - *int* **Figura 7D** \*1 tal como se muestra en la **Figura 4** \*4. Resultados equivalentes han sido descriptos por Morrás *et al.*, (1999) y Morrás (2018) en donde monoculturas de yerba mate con laboreo del suelo (Kandihumult típico) presentaron macro y microagregados con formas redondeadas, a diferencia de tratamientos de suelo virgen y de yerba mate con abono verde (Pasto elefante) en los que los agregados presentaban morfología irregular. De la misma forma, Álvarez *et al.* (2008), encontraron en un Argiudol típico del sudeste bonaerense cambios en la rugosidad para diferentes prácticas agrícolas, presentándose una mayor rugosidad en situaciones sin agricultura. Sin embargo, esta variable puede estar asociada a variables edáficas disminuyendo su utilidad al comparar suelos distintos (Kraemer *et al.*, 2017a).

Por otro lado, la visualización de los agregados en tres dimensiones (**Número de Caras y Vértices**) logró discriminar exitosamente la intensificación de la secuencia agrícola y las situaciones inalteradas. La cantidad de caras de los agregados fue menor en manejos tendientes al monocultivo con respecto a la situación natural y la secuencia más intensificada, mientras que también el número de vértices resultó menor en -*int* diferenciándose del ambiente natural **Figura 7A-B** \*1.

La disminución del número de caras y vértices ha sido asociada al aumento del tránsito de maquinarias y la densidad aparente (Hartge *et al.*, 1999; Kraemer *et al.*, 2017a). No obstante, en este ejemplo, los suelos con mayor intensificación agrícola presentaron mayores valores de caras y vértices. La creación de caras es un proceso vinculado a la expansión y contracción (Hartge *et al.*, 1999) y a los procesos de agregación del suelo. Si bien los distintos manejos agrícolas pueden modificar estos procesos, el tipo y contenido de arcillas así como las propiedades reológicas del suelo tienen una influencia mayor (Kraemer, 2015). Así, el efecto negativo de una mayor intensificación de la secuencia se vio compensada en +*int* por una regeneración del suelo, originada por mecanismos de agregación más activos (e.g. pendientes de contracción más elevadas, mayor actividad biológica, mayor contenido de carbono). Esto pudo ser comprobado por el alto coeficiente de correlación encontrado entre estas variables con la mineralogía de arcillas, los límites de Atterberg y el contenido de las distintas fracciones de carbono (Kraemer *et al.*, 2017a, b). Por otro lado, ambas variables, presentaron correlaciones altas con la estabilidad estructural, con el tiempo de permanencia de raíces vivas, y el carbono orgánico. En particular el número de caras; se asoció con variables de manejo asociadas con la proporción de soja o maíz en la secuencia de cultivo. Cómo se observa en el tratamiento +*int* de Monte Buey, todos los rasgos mencionados (porosidad, redondez, nº de caras y vértices) pudieron ser detectados aún en una micro-escala **Figura 8** . Por consiguiente, estas variables, a semejanza con el Ivc, son útiles para monitorear el estado de compactación del suelo, dado que también están asociadas a los mecanismos de agregación de los suelos.

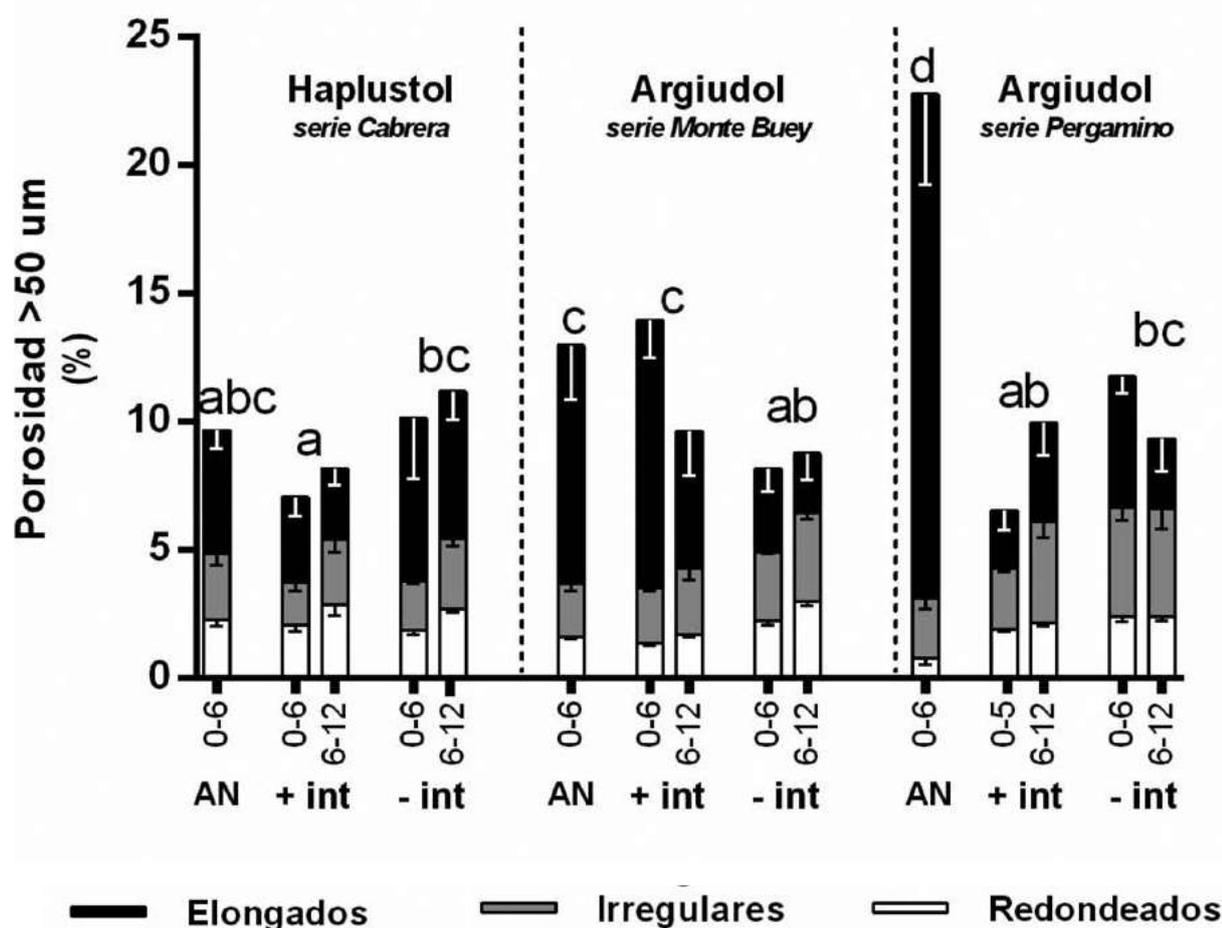


**Figura 8:** Fotografías de agregados de <2µm (microscopio electrónico de barrido) para la combinación sitio-tratamientos; **A:** Ambiente natural; **B:** + intensificado y **C:** - intensificado para el Argiudol (Monte Buey).

**Figure 8:** Photographs of aggregates <2µm (scanning electron microscope) for the combination site-treatments; **A:** Natural environment; **B:** + intensified and **C:** -intensified for the Argiudoll (Monte Buey).

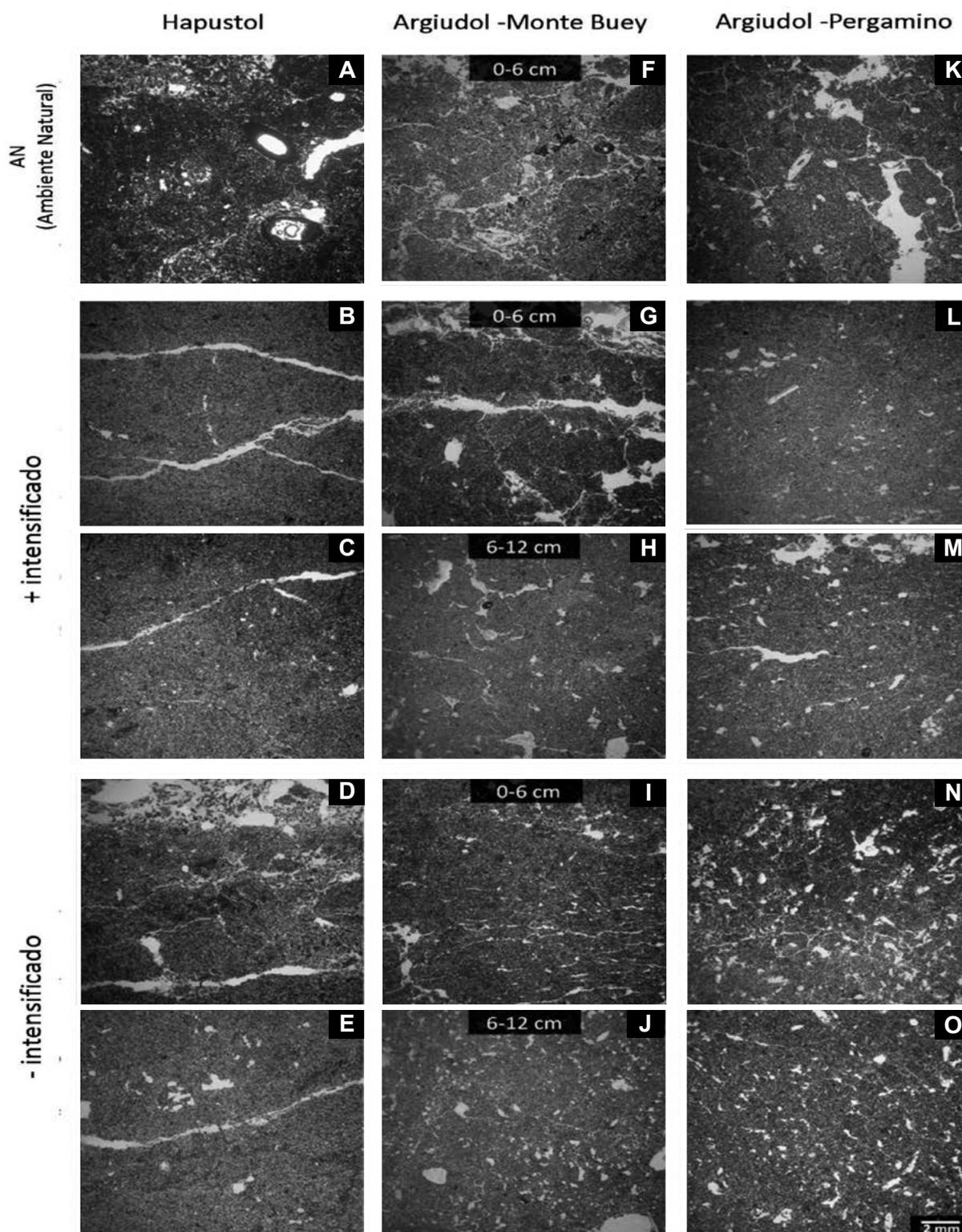
## Microestructura

En los casos aquí estudiados, los análisis micromorfológicos y micromorfométricos permitieron enriquecer la descripción e interpretación de los procesos de compactación del suelo. Una selección de fotografías de la microestructura de cada suelo y tratamiento son presentadas en la **Figura 10**. La porosidad total (>50  $\mu\text{m}$ ) determinada en corte delgado fue menor en el estrato superficial de los tratamientos intensificados del Haplustol y del Argiudol -Pergamino, en coincidencia con los datos obtenidos de densidad aparente **Figuras 2** y **9**. Por el contrario, el Argiudol -Monte Buey presentó una mayor porosidad en el tratamiento con mayor intensificación de la agricultura, principalmente en el estrato de 0-6 cm **Figuras 9** y **10**. En este suelo los dos niveles de intensificación presentaron rasgos morfológicos muy diferentes, los cuales son detallados en el esquema cuali-cuantitativo **Figura 15**. Las diferencias en la macroporosidad encontradas entre suelos mediante este método puede estar explicada por las características intrínsecas del suelo (e.g. textura y materia orgánica), años bajo siembra directa y la secuencia de cultivos. La influencia de estos factores será explicada más adelante.



**Figura 9:** Porosidad (>50  $\mu\text{m}$ ) de los tres tratamientos: AN (Ambiente Natural), +int. y -int. (más y menos intensificado, respectivamente) según la forma de poro y profundidad para tres de los suelos evaluados.

**Figure 9:** Porosity (> 50  $\mu\text{m}$ ) of the three treatments: AN (Natural Environment), + int. and -int. (more and less intensified, respectively) according to the pore shape and depth in three of the soils evaluated.

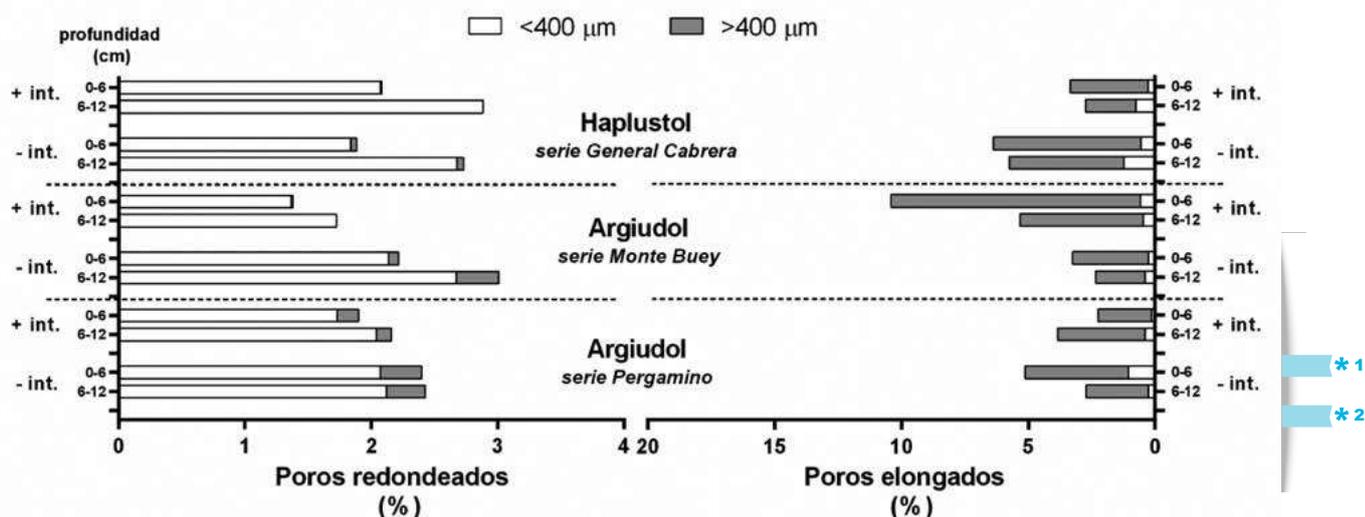


\* 1

**Figura 10:** Selección de microfotografías de cortes delgados de suelo correspondiente a los tres tratamientos: AN (Ambiente Natural), **+int** y **-int** (mayor y menor intensificación de la secuencia agrícola) para 0-6 cm del AN y 0-6 y 6-12 cm de los tratamientos agrícolas en tres de los suelos evaluados (Haplustol, Argiudol –Monte Buey y Argiudol –Pergamino).

**Figure 10:** Selection of microphotographs of soil thin sections corresponding to the three treatments: AN (Natural Environment), **+int** and **-int** (greater and lesser intensification of the agricultural sequence) for 0-6 cm of AN and 0-6 and 6-12 cm of the agricultural treatments in three of the soils evaluated (Haplustoll, Argiudoll -Monte Buey and Argiudoll -Pergamino).

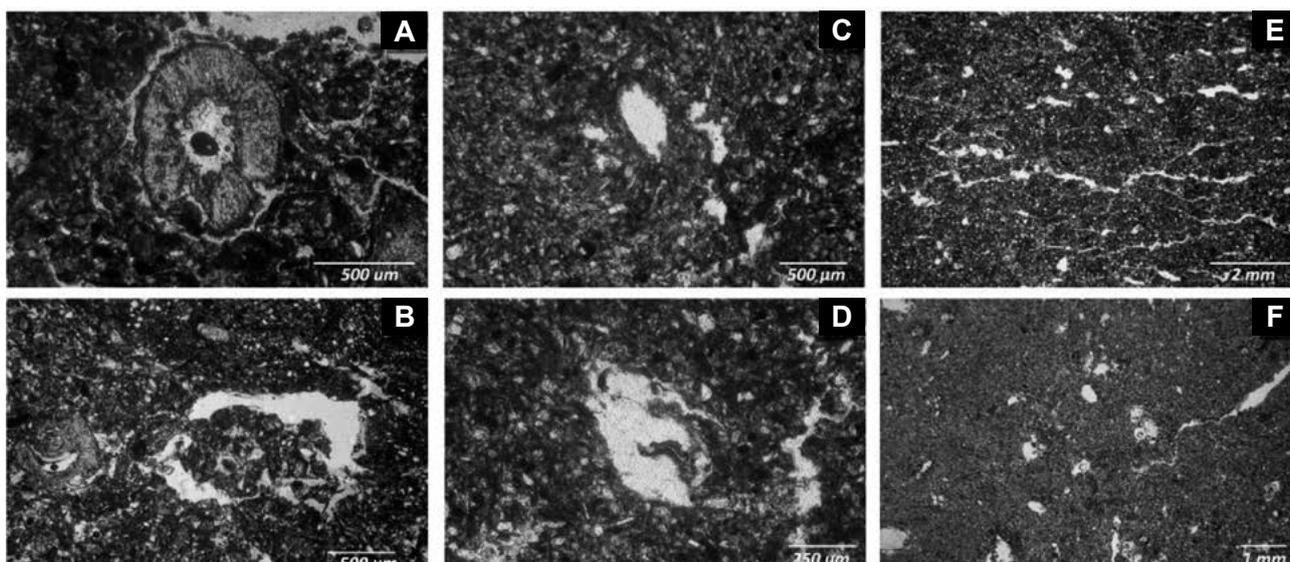
Para describir los procesos de compactación y degradación de la estructura del suelo, es importante conocer la tipología de poros. En los casos aquí estudiados, la categoría de poros irregulares, si bien ocupó el segundo lugar en abundancia, no presentó diferencias entre ambos niveles de intensificación agrícola. Por el contrario, los poros redondeados fueron los más abundantes y se caracterizaron por poseer tamaños menores ( $<400 \mu\text{m}$ ) y estar más representados en estratos más profundos (6-12 cm) **Figura 11** . En general, la proporción de poros redondeados fue mayor en los tratamientos *-int* y menor en *+int* **Figura 11** .



**Figura 11:** Porosidad ( $>50 \mu\text{m}$ ) en porcentaje de área, correspondiente a poros redondeados y elongados de los tratamientos *+int* y *-int* (más y menos intensificado) según el tamaño de poro y profundidad para los tres suelos evaluados.

**Figure 11:** Porosity ( $>50 \mu\text{m}$ ) in percentage of area, corresponding to rounded and elongated pores of the *+int* and *-int* (more and less intensified) treatments according to pore size and depth for the three evaluated soils.

Los poros redondeados observados en corte delgado pueden tener distinto origen y pueden corresponder a diferentes categorías tipológicas. Estos pueden ser descritos como vesículas, las que en muchos casos resultan de procesos de degradación de la estructura. Las vesículas, pueden resultar del redondeamiento de cavidades o de poros de empaquetamiento por acción de la compresión mecánica, o como consecuencia del entrapamiento de aire que ocurre durante el sellamiento de la superficie de suelos con escasa cobertura causado por precipitaciones pluviales intensas (Morrás, 2014; 2015). En este sentido, Lima *et al.* (2006) encontraron que los poros redondeados son más frecuentes en suelos compactados, con y sin *hardsetting* (endurecimiento del suelo en seco). En otros casos, los poros redondeados corresponden a secciones transversales de canales biológicos, producidos por raíces o la fauna del suelo (Morrás, 2015), lo que por el contrario reflejaría mejores condiciones microestructurales y del comportamiento del flujo de fluidos dentro del suelo. Las observaciones sugieren que en los AN de todos los suelos y en el tratamiento *+int* del Argiudol -Monte Buey, buena parte de los poros redondeados tienen este último origen **Figura 12A-B-C-D** . Por el contrario, en *-int*, la génesis de estos poros es más variada y en gran parte estaría vinculada a procesos de redondeamiento por compresión asociados a la génesis de estructuras laminares **Figura 15E-F-G** \*1. Por otro lado, se evaluó la estabilidad estructural de los agregados (Le Bissonais, 1996) de los diferentes tratamientos y se encontró que los tratamientos *-int*, los cuales poseían una mayor proporción de poros redondeados, fueron los que presentaron una menor estabilidad ( $r:-0,69$ ;  $P<0,01$ ). En este caso los tratamientos menos intensificados, se encuentran asociados con una menor diversidad de la secuencia de cultivos, menor presencia de raíces vivas durante el año ( $<ISI$ ) y menor estabilidad estructural ( $r:-0,69$ ;  $P<0,01$ ).



**Figura 12:** Algunos ejemplos del origen de poros redondeados, correspondientes a secciones delgadas de los tres tratamientos evaluados en el Argiudol - Monte Buey. **A-B:** corresponden al Ambiente natural (AN) donde se observa una sección transversal de una raíz que conformará un poro redondeado (canal) (a) y tejidos vegetales y agregados biológicos en el centro de otro canal (b); **C-D:** tratamiento de mayor intensificación (+ int) donde se observa un poro redondeado (canal) con material orgánico en los bordes del mismo indicando un origen biológico (c) y un poro similar a (b) con restos de tejido vegetal en su interior (d); **E-F:** tratamiento de menor intensificación (- int) donde poros redondeados pequeños (cavidades) se encuentran asociados a poros horizontales (e) mientras que la fotografía (f) indica cavidades originadas por compresión de microagregados y partículas individuales.

**Figure 12:** Some examples of the origin of rounded pores, corresponding to soil thin sections of the three treatments evaluated in the Argiudoll - Monte Buey. **A-B:** correspond to the Natural environment (AN) where a cross section of a root will form a rounded pore (channel) (a) and plant tissues and biological aggregates in the center of another channel (b); **C-D:** treatment of greater intensification (+ int) where a rounded pore (channel) with organic material is observed at the edges, indicating a biological origin (c) and a pore similar to (b) with remains of plant tissue in its interior (d); **E-F:** treatment of less intensification (- int) where small rounded pores (vughs) are associated with horizontal pores (e) while photography (f) indicates vughs caused by compression of microaggregates and individual particles.

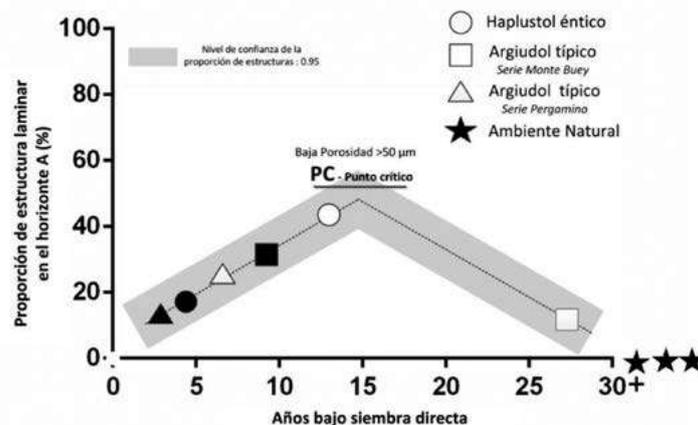
Por otra parte, más del 65% de la porosidad, de los suelos y tratamientos evaluados, correspondieron a poros elongados. Estos presentaron una mayor abundancia en los tamaños grandes ( $>400 \mu\text{m}$ ) y en el estrato superficial **Figura 11** \*1. Los poros elongados están asociados morfológicamente a las fisuras y a los canales. Las primeras son planos de debilidad en la superficie de los agregados, que se originan básicamente como consecuencia de los procesos de expansión-contracción. Los canales son poros tubulares de origen biológico, producidos por la fauna y las raíces de las plantas (Morrás, 2015). Los poros elongados son de especial interés agronómico ya que diversos trabajos señalan que las categorías de mayor tamaño de este tipo de poros se correlacionan positivamente con el movimiento de aire y agua en el suelo (Pagliai *et al.*, 2003, Castiglioni y Morrás, 2007) siendo además las más afectadas por los manejos agrícolas (Pachepky *et al.*, 1996; Rasa *et al.*, 2012; Fernández *et al.*, 2012).

Cuando se considera los poros elongados, también es de importancia evaluar su orientación. En todos los suelos cultivados en SD aquí estudiados se encontró un elevado porcentaje de poros elongados con orientación horizontal, asociados a estructuras laminares. Sin embargo, en el Argiudol - Monte Buey, el tratamiento + int presentó además una orientación de poros sub-vertical **Figura 15I-J** \*2. La generación de un gran número de poros elongados orientados horizontalmente, como ocurre particularmente en SD, podría contribuir a un inadecuado drenaje bajo condiciones muy húmedas y un aumento del escurrimiento superficial (Sasal, 2012). Por otro lado, las estructuras laminares observadas en estos suelos agrícolas estuvieron siempre relacionadas con densificación subyacente. En este sentido, Sasal

et al. (2017b) han sugerido que la formación de estructuras laminares son consecuencia de compactaciones previas de horizontes subyacentes.

En los casos del Haplustol y del Argiudol -Pergamino, los poros elongados, que en su mayoría corresponden a fisuras con orientación horizontal, son más abundantes en los tratamientos menos intensificados, con menor intensidad de tránsito **Figura 10** \*1 y **11** \*2. Por el contrario, en el Argiudol -Monte Buey la mayor abundancia de poros elongados fue generada en el tratamiento con mayor intensidad de tránsito (+ *int*). Este comportamiento diferencial podría ser explicado por varios factores. En primer lugar, como se detalló previamente, estos poros fueron de mayor tamaño, con orientaciones más verticales, mientras que también mucho de estos poros elongados pudieron ser catalogados como canales. Estas diferencias podrían ser resultado de la alta diversidad de cultivos en la secuencia (proporción de maíz y de cultivos de invierno) la cual fue mayor en +*int* del Argiudol -Monte Buey que en el mismo tratamiento de los otros dos suelos **Tabla 1A** \*1. Por otro lado, este tratamiento presentaba la mayor cantidad de años bajo siembra directa, alejándose del período crítico de ocurrencia de estructuras de tipo laminar **Figura 13**  las cuales si bien están asociadas estas elongados estos son fisuras con orientación horizontal.

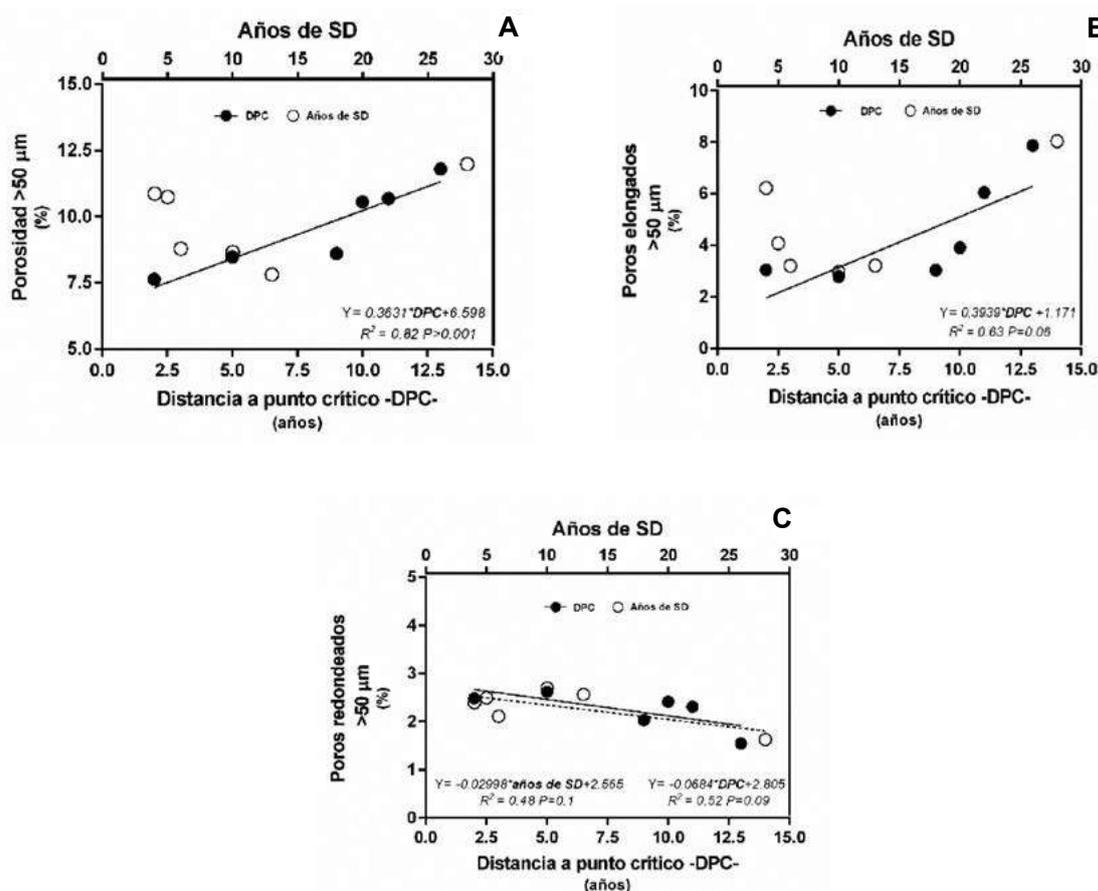
De acuerdo a Sasal et al., (2017a) las propiedades del suelo, en particular, la presencia y abundancia de estructuras laminares, dependen de los años bajo cultivo en siembra directa. En los primeros años de implementación existe una baja frecuencia de este tipo de estructura asociada a una alta porosidad residual originada por labranzas (no asociadas a agregados estables). Luego esta frecuencia aumenta con un concomitante aumento de la densidad aparente hasta un valor máximo que se alcanzaría aproximadamente a los 15 años para la región pampeana. Luego de este período crítico, a consecuencia del aumento del disturbio biológico originado por el incremento de la fauna y la actividad microbiológica disminuye la abundancia y frecuencia de estructuras laminares mientras que a su vez el sistema poroso del suelo se vuelve más favorable para el movimiento del agua y el aire (VandenBygaart et al., 1999; Morrás et al., 2012a). Este proceso se podría ver retrasado en planteos tendientes al monocultivo de soja.



**Figura 13:** Curva teórica de la evolución de la proporción de la estructura laminar (adaptado de Sasal et al., 2017a) y del porcentaje de porosidad total >50 µm (Kraemer et al., 2018) en el horizonte A. La combinación de los tratamientos y sitios fueron ordenados según esta curva para calcular la distancia temporal (años) al punto crítico (PC). Símbolos en blanco y negro corresponden los tratamientos + y - intensificados, respectivamente.

**Figure 13:** Theoretical curve of the evolution and proportion of platy structure (adapted from Sasal et al., 2017a) referred to the percentage of total soil porosity > 50 µm (Kraemer et al., 2018) in the A horizon. The combination of treatments and sites were ordered according to this curve to calculate the temporal distance (years) to the critical point (PC). Symbols in black and white correspond to the + and - intensified treatments, respectively.

La consideración de la distancia al período crítico **Figura 13** \*1, permitió explicar el volumen de los distintos tipos de poros. Así, la porosidad total y de los distintos tipos de poros (elongados y redondeados) aumentaron su proporción al alejarse de este período crítico **Figura 14A-B-C** . Por otro lado, si en el análisis se utiliza la variable *años de siembra directa*, únicamente se encontró una relación (negativa) con los poros redondeados. Sin embargo, los años bajo siembra directa presentaron altas correlaciones con los distintos pre-tratamientos de estabilidad estructural de los suelos evaluados (e.g.  $DMP_{promedio}$ :  $r: 0,80, P < 0,001$ ).



**Figura 14:** Regresión lineal entre los *años bajo siembra directa* y la *distancia al punto crítico (DPC)* para poros > 50  $\mu\text{m}$  según **A**: porosidad total; **B**: porosidad de poros elongados y **C**: porosidad de poros redondeados.

**Figure 14:** Linear regression between the years under no tillage and the *distance to the critical point (DPC)* for pores > 50  $\mu\text{m}$  according to **A**: total porosity; **B**: porosity of elongated pores and **C**: porosity of rounded pores.

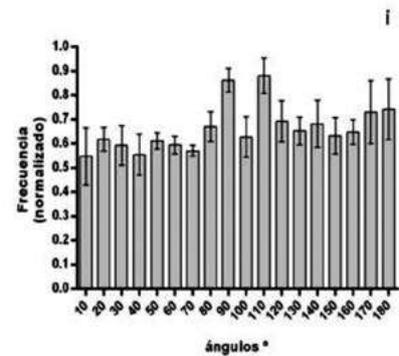
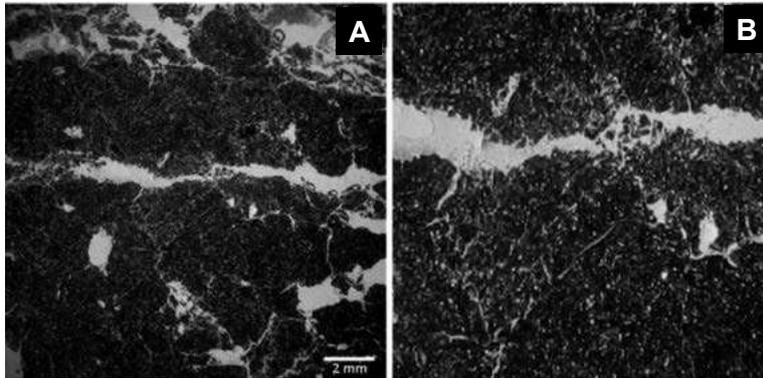
Por otro lado, no sólo aspectos cuantitativos se ven afectados por la intensificación de la secuencia agrícola y los años bajo siembra directa. Tomando como ejemplo el Argiudol –Monte Buey, los estudios micromorfológicos revelaron diferencias en la génesis y en las características cualitativas de las láminas entre ambos tratamientos. Si bien el tratamiento + *int* promovió el desarrollo de poros elongados grandes, siendo muchos de ellos planares, estos están conformados por la cohesión de microagregados redondeados de origen biológico **Figura 15A** \*3, mientras que los agregados laminares del tratamiento - *int* son resultantes de la compactación de partículas individuales y microagregados **Figura 15E** \*3. Por consiguiente, es esperable que ambas estructuras laminares tengan un comportamiento diferente en cuanto al movimiento de aire y agua en el suelo.

**ARGIUDOL TÍPICO – MONTE BUEY**

**+ intensificación agrícola**

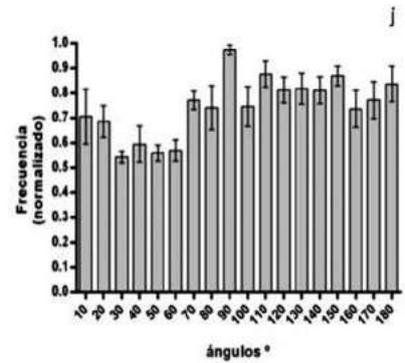
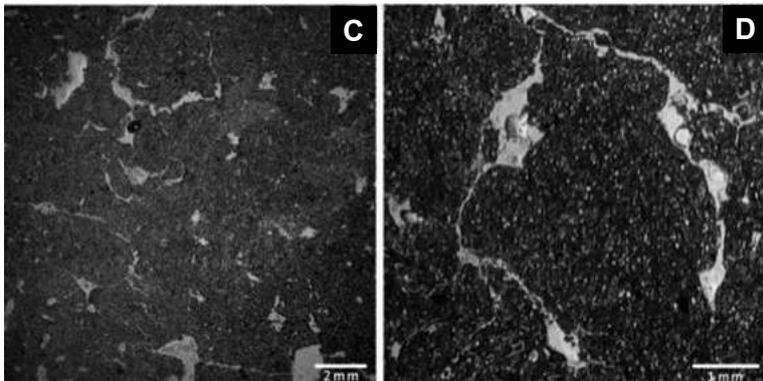
La microestructura está compuesta por agregados densos y redondeados (gránulos) de aproximadamente 2-3 mm (Fig. a), los cuales a su vez coalescen para formar láminas onduladas (Fig. a, b) y bloques subangulares, con alto grado de separación (Fig. b). Los peds esféricos “primarios” parecen ser excrementos de Lumbricidae. Los vacíos dominantes son poros de empaquetamiento compuesto (Fig. a) y fisuras grandes, muchas de ellas presentando orientaciones horizontales o sub-horizontales. Los poros no presentan ninguna orientación en particular Fig. i); las paredes de las fisuras están parcialmente acomodadas a no acomodadas siendo sus superficies desde onduladas a rugosas (Fig. b). La microestructura a esta profundidad varía entre granular y bloques subangulares

0-6 cm

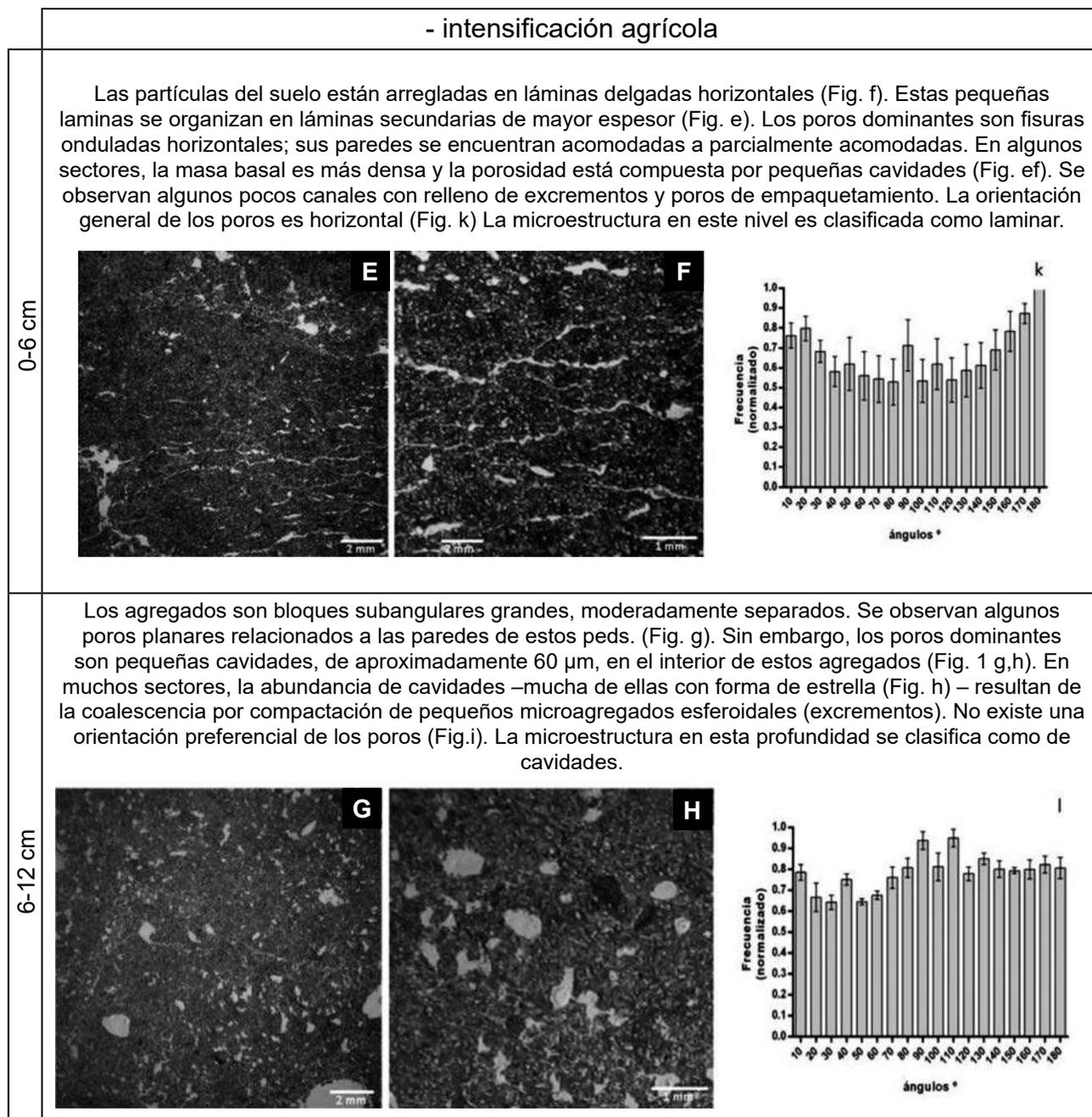


Los agregados corresponden a bloques subangulares de mayor tamaño respecto al nivel superficial (4 cm aprox.), pero moderadamente o débilmente separados (Fig. c, d). Los poros más frecuentes son cavidades, comúnmente con un morfología de estrella (Fig. c), y fisuras mayormente subverticales (Fig. c,d). La orientación general es similar al estrato superficial con un porcentaje mayor de orientaciones subverticales (Fig. J). La estructura a nivel microscópico debe ser descripta como de cavidades, aparentemente como resultado de la densificación de gránulos “primarios” grandes, menos individualizados con respecto al nivel superficial.

6-12 cm



\* 1  
\* 2  
\* 3



**Figura 15:** Descripción micromorfológica sintética y orientación de poros de los tratamientos agrícolas (+ y - intensificado) del Argiudoll –Monte Buey para los dos estratos analizados (0-6 cm y 6-12 cm).

**Figure 15:** Synthetic micromorphological description and pore orientation of the agricultural treatments (+ and - intensified) in the Argiudoll - Monte Buey for the two layers analyzed (0-6 cm and 6-12 cm).

## ■ CONCLUSIONES

A partir del análisis morfológico a diferentes escalas y mediante diversos procedimientos, se pudo apreciar que existe una fuerte diferenciación estructural entre los ambientes naturales y los tratamientos agrícolas. En general los AN presentaron una cierta isotropía, así como estructuras más favorables al desarrollo vegetal (migajosa, granular) con mayor porosidad y desarrollo de raíces, así como una menor DAP.

Por el contrario, las situaciones agrícolas presentaron una evidente anisotropía de la estructura en la profundidad evaluada (0-20 cm), en tanto la DAP fue mayor en los tratamientos más intensificados. Sin embargo, los rasgos morfológicos de los tratamientos agrícolas sintetizados en el índice visual de calidad (Ivc) mostraron efectos positivos en los tratamientos más intensificados. En estos casos se observó una mayor porosidad visible, así como una menor redondez y mayor número de caras y vértices de los agregados. La consideración del tipo, clase y grado de las estructuras descriptas, su localización y morfología enriquecieron la interpretación del proceso de compactación del suelo. La presencia de estructuras densificadas, como las estructuras laminares (presente en ambos tratamientos agrícolas), estuvieron relacionadas con bloques subangulares con grado moderado de desarrollo como ocurre en **+int**, mientras que en el tratamiento **-int**, las estructuras laminares, en general, se asociaron con bloques subangulares débiles, escasa presencia de raíces y baja porosidad visible. Estos resultados relativizan el valor de la densidad aparente como indicador aislado de calidad física y sugieren la necesidad de complementar ese parámetro con la evaluación de la macroporosidad y de la estructura del suelo.

A partir del estudio micromorfológico de los estratos 0-6 y 6-12 cm resultaron evidentes los procesos de compactación en ambos tratamientos agrícolas. Así, por ejemplo, ambos niveles de intensificación presentaron estructuras laminares asociadas a poros planares. Sin embargo, se reconocieron rasgos diferenciales entre ambos tratamientos, los cuales dependieron de las variables de manejo y del tipo de suelo analizado. En general, en los tratamientos **-int** las estructuras laminares estuvieron conformadas por partículas individuales densificadas, mientras que en **+int** dichas estructuras también estuvieron conformadas por la cohesión de microagregados biológicos. En el caso de los tratamientos menos intensificados, aun cuando el tránsito de maquinaria es menor, el desarrollo de las estructuras laminares se relacionaría con una menor estabilidad de los agregados del suelo, incrementando así el impacto del tráfico. Por otro lado, en el caso de los tratamientos **+int** las situaciones aparecen diversas según los suelos. En el Haplustol y en el Argiudol -Pergamino, la mayor intensificación de la secuencia agrícola (**+int**) generó una mayor densificación reflejada en una menor porosidad  $>50 \mu\text{m}$ . En el Argiudol de Monte Buey (suelo con mayor intensificación de la secuencia agrícola y mayor cantidad de años bajo SD), la mayor DAP en el tratamiento **+int** no se vio reflejada en la disminución de la porosidad  $>50 \mu\text{m}$ . Por el contrario, este tratamiento presentó la mejor condición física, química y biológica del estudio. Estos resultados en términos de salud del suelo pueden ser atribuidos también a la secuencia más diversa y balanceada entre gramíneas y leguminosas y el incremento de la actividad biológica demostrada claramente por la micromorfología. Como fuera sugerido con anterioridad (Morrás *et al.* 2012a; 2017), la microestructura superficial bajo SD es el resultado de la contraposición de tensiones mecánicas y de acciones biológicas. En el caso del tratamiento **+int** de Monte Buey, la mayor proporción de gramíneas en el ciclo agrícola, además del efecto sobre la formación de bioporos por raíces, habría promovido una mayor actividad de la fauna que ha contrarrestado la compresión mecánica vertical producida por el tránsito de maquinaria. Esto sugiere que, además de los conocidos beneficios de la SD en la conservación del suelo, la elección de la secuencia de cultivo es clave para el control y rehabilitación de suelos compactados.

Se debe destacar que los cambios estructurales generados por los tratamientos **+** y **-** intensificados en siembra directa estuvieron en todos los casos condicionados por las características intrínsecas de cada suelo tales como la granulometría y la mineralogía de la fracción arcilla y su influencia en los procesos de expansión y contracción. En este sentido, dado la particular composición del suelo Vertisol,

las modificaciones estructurales generadas por la siembra directa y las prácticas de manejo presentaron en este suelo algunas diferencias respecto a los Molisoles dado que el efecto del manejo está condicionado por los procesos de expansión y contracción. No obstante, en este suelo también se comprobaron cambios físicos positivos en el tratamiento + *int*.

En conclusión, la utilización de diversas escalas de estudio posibilitó una mejor interpretación de la dinámica estructural y de los procesos de compactación de diversos suelos de la región pampeana cultivados en SD. De esta forma, los resultados presentados aquí sugieren que el impacto de la intensidad del tránsito de maquinaria sobre el suelo está regulado por el grado de intensificación de la agricultura, entendiendo por tal el grado de diversificación de la secuencia agrícola, así como por el número de años de cultivo bajo siembra directa.

## ■ BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, CR; PL Fernández & MA Taboada. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 30(2):173–178.
- Álvarez, CR; MA Taboada; S Perelman & HJM Morrás. 2014. Topsoil structure in no-tilled soils in the Rolling Pampa, Argentina. *Soil Res.* <http://dx.doi.org/10.1071/SR13281>.
- Álvarez, MF; ML Osterrieth, V Bernava Laborde; LF Montti. 2008. Estabilidad morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Ci. Suelo (Argentina)* 26, 115–129.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104:1–16.
- Andriulo, A. & G Cordone. 1998. Impacto de las labranzas y rotaciones sobre la MO de los suelos de la región pampeana húmeda. En Siembra Directa. Ed. Hemisferio Sur. Pp. 65-96.
- Askari, MS; J Cui & NM Holden. 2013. The visual evaluation of soil structure under arable management. *Soil Till. Res.* 134: 1-10.
- Baize, D. 2013. Description des divers types d'agrégats et de la structuration des horizons non labourés. En: Baize, D., Duval, O., Richard, G. (coordinadores). Le sols et leurs structures. Observations á différentes échelles. Editions Quae, Versailles, Francia, pp. 65-78
- Baize, D & B Jabiol. 2011. Guide pour la description des sols. Éditions Quae, Versailles, Francia, 429 p.
- Baize, D & F van Oort. 2013. Structures et porosités. Importance pour le fonctionnement des sols. Naisance et destruction des agrégats. En: Baize, D., Duval, O., Richard, G. (coordinadores). Le sols et leurs structures. Observations á différentes échelles. Editions Quae, Versailles, Francia, pp. 21-38.
- Ball, BC; T Batey & LJ Munkholm. 2007. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manage.* 23: 329–33.
- Barbosa, O; M Taboada; M Rodriguez & D Cosentino. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa ondulada (Argentina). *Cienc. Suelo (Argentina)*. 15: 81-86.
- Baver, LD. 1956. Soil Physics. John Wiley and Sons Inc. New York. Londres, Sidney.

- Boizard, H; J Peigné; MC Sasal *et al.* 2017. Developments in the “profil cultural” method for an improved assessment of soil structure under no-till. *Soil Till. Res.* 173: 92-103,
- Bonel, B & H. Morrás. 2000. Estudio de la morfología del horizonte superficial de un Argiudol con diferentes manejos de rastrojo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata (editado en CD).
- Bonel, B; H Morrás & V Bisaro. 2005. Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un suelo Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. *Ci. Suelo (Argentina)* 23:1-12.
- Botta, G; O Pozzolo; M Bomben; M Tourn; E Soza; H Rosatto; A Gil; J Ressia; D Rivero; JY Vazquez & S Stadler. 2007. Aplicación del tráfico controlado en la cosecha de maíz: Efectos sobre rendimientos del cultivo y las propiedades físicas del suelo. *Agro-Ciencia* 23.
- Carter, MR. 2004. Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil Till. Res.* 79: 1–6.
- Castiglioni, MG & HJM Morrás. 2007. Uso del análisis digital de imágenes para el estudio de la porosidad de la zona no saturada de Argiudoles de Argentina. En: Giráldez Cervera JV, Jiménez Hornero FJ editors. Estudios de la Zona no Saturada del Suelo Vol. 7 p. 83-88.
- Castiglioni, MG; FB Kraemer & HJM Morrás. 2013. Efecto de la secuencia de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad física de suelos de la región Pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 31(1): 93-105.
- Cavaliere, KMV; AP Silva, CA Tormena; TP Leão; AR Dexter & I Hakansson. 2009. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferralsol in Paraná, Brazil. *Soil Till. Res.* 103:158-164.
- Caviglia, O. 2011. Intensificación agrícola: un enfoque a nivel de sistema para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y nutrientes y la sustentabilidad ambiental. Simposio Fertilidad 2011. Fertilizar – IPNI Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Caviglia, OP & FH Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol.* 3:1–8.
- Chagas, C; H Marelli & O Santanatoglia. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ci. Suelo (Argentina)* 12:11-16.
- Cosentino, D & C Pecorari. 2002. Limos de baja densidad: impacto sobre el comportamiento físico de los suelos de la región pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 20:9-16.
- Cremon, C; D Sacco; C Grignani; E Jardim Rosa Júnior; NC Mapeli. 2011. Micromorfometría de agregados de suelo sobre diferentes sistemas de cultivo de arroz. *Pesquisa Agropecuária Tropical.* 41: 370–77.
- De Battista, JJ; A Andriulo; M Ferrari & C Pecorari. 1994. Evaluation of the soils structural condition under various tillage systems in the Pampa Humeda (Argentina). Actas del 13 ISTRO Conference, Alborg, Denmark.
- De Battista, JJ; C Pecorari & R Albrecht. 1997. Evaluación del estado estructural en suelos con agricultura continua en siembra directa. INTA, EEA Rafaela. Información Técnica N° 205, 12 pp.
- Derpsch, *et al.* 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil Till. Res.* 137:16–22
- Diaz-Zorita, M. 1996. Labranzas en la Region Semiarida y Subhumeda Bonaerense Noroeste. In: Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L., Babinec, F. (Eds.), Labranzas en la Región Semiarida Argentina. INTA y SAPyA, Santa Rosa, Argentina, pp. 39-48.

- Drees, L; A Karathanasis; L Wilding & R Blevins. 1994. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 508-517.
- Durán, A; H Morrás; G Studdert & X Liu. 2011. Distribution, properties, land use and management of Mollisols in South America. *Chin. Geogr. Sci.* 21: 511-530.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131, 11-19.
- Duval, ME; ES Pereira; JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ci. Suelo (Argentina)* 12: 11-16.
- Duval, M; J Galantini; J Martínez; F López & L Wall. 2015. Evaluación de la calidad edáfica de los suelos de la región pampeana: efectos de las prácticas de manejo. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR* 0 (25):033–043.
- Duval, ME; JA Galantini; JM Martínez; FM López & LG Wall. 2016. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable land management: Influence of site features and seasonality. *Soil Till. Res.* 159: 9-22.
- Fernández, PL; FB Kraemer & HJM Morrás. 2012. Porosidad y microestructura superficial de un Argiudol típico en distintos momentos bajo diferentes manejos agropecuarios. En: Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. AACs; 2012 Abr 16-20; Mar del Plata, Argentina.
- Figuerola, EL; LD Guerrero; SM Rosa; L Simonetti; ME Duval; JA Galantini; JC Bedano; LG Wall & L Erijman. 2012. Bacterial indicator of agricultural management for soil under no-till crop production. *PLoS One* 7 (11) 12 pp. doi:10.1371/journal.pone.0051075.
- Gerster, G & D Vidal. 1997. Efectos de los sistemas de labranzas sobre la capa arable en el cultivo de maíz. Información técnica n° 53. EEA INTA Oliveros.
- Gerster, G; O Novello & G Torresi. 2003. La siembra directa y su efecto en las propiedades físicas del suelo. Informe monográfico. Curso sobre Aspectos agronómicos de la mineralogía, micromorfología y mecánica de suelos (J. Hilbert y H. Morrás). Escuela para Graduados, Facultad de Cs. Agrarias, UNR.
- Guimarães, RML; BC Ball & CA Tormena. 2011. Improvements in the visual evaluations of soil structure. *Soil Use and Manage.* 27: 395-403.
- Guimarães, RML; BC Ball; CA Tormena; NFB Giarola & AP Silva. 2013. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. *Soil Till. Res.* 127, 92-99.
- Hartge, KH; J Bachmann & N Pesci. 1999. Morphological Analysis of Soil Aggregates Using Euler's Polyeder Formula. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 930–933.
- Imhoff, S; H Imvinkelried; C Tormena & AP da Silva. 2009. Field visual analysis of soil structural quality in Argiudolls under different managements. *Ci. Suelo (Argentina)*. 27: 247-53.
- Kraemer, FB. 2015. Influencia de la granulometría y la mineralogía en el comportamiento hidro-físico y estructural en suelos con distinta intensidad y secuencia de cultivos bajo siembra directa. Tesis de Doctorado. Escuela para Graduados Alberto Soriano Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Kraemer, FB; CI Chagas; G Marré; EA Palacín & OJ Santanatoglia. 2013. Desplazamiento de la ganadería por la agricultura en una cuenca de la Pampa Ondulada: efectos sobre el escurrimiento superficial y erosión hídrica. *Ci. Suelo (Argentina)* 31(1).

- Kraemer, FB; MG Castiglioni; L Carnevale; PL Fernandez; HJM Morrás. 2014. Porosidad estructural y textural en manejos bajo siembra directa en la región pampeana. En: Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACS; 2014 May 5-9; Bahía Blanca, Argentina.
- Kraemer, FB; MA Soria; MG Castiglioni; M Duval; J Galantini; H Morrás 2017a. Morphostructural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. *Soil Till. Res.* 169:124-137.
- Kraemer, FB; MG Castiglioni & H Morrás. 2017b. Evaluación micromorfométrica de la porosidad de un Argiudol típico con dos intensidades de uso bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)*. En Prensa.
- Kraemer, FB; MG Castiglioni; PL Fernández; CI Chagas & HJM Morrás. 2018. Efecto de la intensificación agrícola y los años bajo siembra directa sobre la porosidad del suelo. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 15-18 de Mayo. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Kutílek, M. 2004. Soil hydraulic properties as related to soil structure. *Soil Till. Res.* 75:175-184.
- Le Bissonais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Liesch, AM; ES Krueger & TE Ochsner. 2011. Soil structure and physical properties under rye-corn silage double-cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:1307-1314.
- Lima, HV; AP Silva; MC Santos; M Cooper & RE Romero. 2006. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). *Geoderma* 132:416-426
- Loaiza, J; G Stoops; R Poch & M Casamitjana. 2015. Manual de Micromorfología de Suelos y técnicas complementarias. Fondo Editorial Pascual Bravo, Medellín, Colombia. pp. 384.
- Mahboubi, AA; R Lal & NR Faussey. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soil in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am J.* 57:506-512.
- Morrás, H. 2014. Caracterización micromorfológica de la degradación de un Haplustol franco-limoso de la región pampeana por efecto de la agricultura continua. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Argentina (edición digital en CD).
- Morrás, H. 2015. Porosidad y microestructura de suelos. En: Loaiza JC, Stoops G, Poch RM, Casamitjana M (eds.) Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias. Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, Colombia. pp. 205-260.
- Morrás, H & B Bonel. 2005. Microstructure differentiation in a Typic Argiudoll in the Pampean Region of Argentina under conventional and no-till agricultural systems. Two converging pathways to a similar organic matter content. *Geophysical Research Abstracts* 7: 01337.
- Morrás, H & G Píccolo. 1998. Biological recuperation of degraded Ultisols in the Province of Misiones. *Advances in GeoEcology* 31: 1211-1215.
- Morrás, H., Leyva, E. & Píccolo, G., 1999. Modificaciones de la morfología y porosidad de agregados en un Ultisol bajo diferentes tratamientos culturales (Misiones, Argentina). 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile (Ed. en CD).
- Morrás, HJM; BA Bonel & R Michelena. 2004. Características microestructurales del horizonte superficial de algunos suelos pampeanos bajo siembra directa. En: Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACS; 2004 Jun 22-25; Paraná, Argentina.
- Morrás, H; B Bonel; L Moretti; E Favret & E Bressan. 2008. Porosidad y microestructura superficial de un Argiudol típico bajo siembra directa y labranza reducida. En: Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACS; 2008 May 13-16; San Luis, Argentina.

- Morrás, HJM; BA Bonel; FB Kraemer & CA Álvarez. 2012a. Topsoil microstructural models in no-till Pampean Mollisols of Argentina. Morphology and development. En: Proceedings of the 14th International Working Meeting on Soil Micromorphology. Lleida, España.
- Morrás, H; FB Kraemer; E Bressan & P Morrás. 2012b. Efectos de la descompactación y aplicación de yeso en un Argiudol cultivado en siembra directa. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. AACs. Mar del Plata, Argentina.
- Morrás H; F Kraemer; B Bonel; C Alvarez; P Fernández; M Castiglioni; E Bressan; M Taboada; L Moretti & E Favret. 2017. Microstructure of pampean soils cultivated under no-till. The battle between biology and machines. Proceedings 7th World Conference on Conservation Agriculture-Aapresid, Rosario, pp. 62-67 (edición digital).
- Mueller, L; G Shepherd; U Schindler; BC Ball; LJ Munkholm; V Hennings; E Smolentseva; O Rukhovic; S Lukin & C Hu. 2013. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil Till. Res.* 127: 74–84.
- Nesmith, DS; DE Radcliffe; WL Hargrove; RL Clark & EW Tollner. 1987. Soil compaction in double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 183–186.
- Novelli, LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-68:254-260.
- Novelli, LE; OP Caviglia OP; MG Wilson & MC Sasal. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196:260–267.
- Olszewski, N; LM Costa; El Fernandes Filho; HA Ruiz; RC Alvarenga & JC Cruz., 2004. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 28 : 901-909.
- Pachepsky, YA; D Timlin & D Varallyay. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 60:727-733.
- Pagliai, M. 1987. Effects of different management practices on soil structure and surface crusting. *Soil Micromorphol.* 7:415-421.
- Pagliai, M; M La Marca & G Lucamante. 1983. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. *J. Soil. Sci.* 34:391-403.
- Pagliai, M; LA Marca; G Lucamante & L Genovese. 1984. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. *Soil Till. Res.* 4:433-444.
- Pagliai, M; A Marsili, P Servadio; N Vignozzi & S Pellegrini S. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil Till. Res.* 73:119-129.
- Pagliai, M; N Vignozzi & S Pellegrini S. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.* 79:131-143.
- Peerlkamp, PK. 1959. A visual method of soil structure evaluation. Meded. v.d. Landbouwhogeschool en Opzoekingsstations van de Staat te Gent. XXIV No. 24, pp. 216–221.
- Pires, LF; JAR Borges; JA Rosa; M Cooper; RJ Heck; S Passoni & WL Roque. 2017. Soil structure changes induced by tillage systems. *Soil Till. Res.* 165:66-79.
- Poch, RM. 2015. Micromorfometría. En: JC Loiza, G Stoops, RM Poch & M Casamitjana (eds.) Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias. Fondo Editorial Pascual Bravo. Medellín, Colombia. pp.293-307.

- Quiroga, AR; M Monsalvo; DE Buschiazzi & E Adema. 1996. Labranzas en la región semiárida Pampeana central. En: DE Buschiazzi, , JL Panigatti, F Babinec (Eds.), Labranzas en la Región Semiárida Argentina. INTA y SAPyA, Santa Rosa, Argentina, pp. 80-92.
- Ralisch, R; H Debiassi, J Franchini, *et al.* 2017. Diagnóstico rápido da estrutura do solo. DRES. Documentos 390. Embrapa Soja, Londrina, Brasil. 63 p.
- Rasa, K; T Eickhorst; R Tippkötter & M Yli-Halla. 2012. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis. *Geoderma* 173-174:10-18.
- Rosa, SM; FB Kraemer; MA Soria, LD Guerrero, HJM Morrás; ELM Figuerola & L Erijman. 2014. The influence of soil properties on denitrifying bacterial communities and denitrification potential in no-till production farms under contrasting management in the Argentinean Pampas. *Appl. Soil Ecol.* 75:172-180.
- Sasal, C. 2012. Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua. Tesis Doctoral. Área Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados FAUBA. 144 pp.
- Sasal, C; A Andriulo & M Taboada. 2006. Soil Porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in argentinian pampas. *Soil Till. Res.* 87:9-18.
- Sasal, MC; MG Castiglioni & MG Wilson. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural rainfall erosion plots under no tillage. *Soil Till. Res.* 108:24–29.
- Sasal, MC, Boizard H, Andriulo AE, Wilson MG & Léonard J. 2017a. Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil Till. Res.* 173:33-41.
- Sasal, MC; J Léonard; A Andriulo & H Boizard. 2017b. A contribution to understanding the origin of platy structure in silty soils under no tillage. *Soil Till. Res.* doi.org/10.1016/j.still.2016.08.017.
- Schoenberger, PJ; DA Wysocky; EC Benham & WD Broderson. 1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service; USDA, National Survey Center, Lincoln, NE.
- Schmidt, E; M Villamil & N Amiotti. 2018. Soil quality under conservation practices on farm operations of the southern semiarid pampas region of Argentina. *Soil Till. Res.* 176: 85–94.
- Shepherd, TG. 2000. Visual Soil Assessment. Volume 1. Field Guide for Cropping and Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country. Horizons.mw/Landcare Research, Palmerston North, 84 pp.
- Shepherd, TG. 2009. Visual Soil Assessment. Volume 1. Field Guide for Pastoral Grazing and Cropping on Flat to Rolling Country, 2nd ed., Horizons Regional Council.
- Shipitalo, MJ & R Protz. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Canadian J. Soil Sci.* 67: 445-456.
- Stengel, P; J Douglas; J Guerif; M Gross; R Monnier & R Cannel. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drill. *Soil Till. Res.* 4: 35-53.
- Stoops, G. 2003. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 184 p.
- Studdert, GA; GF Domínguez; M Agostini & G Monterubbianesi. 2010. Cropping systems to manage southeastern pampas Mollisols health. I. Organic C and mineralizable N. New advances in Research and Management of World Mollisols proceedings of international symposium on soil quality and management of world Mollisols, Harbin, China.

- Taboada, MA & RS Lavado (Ed.). 2009. Alteraciones de la Fertilidad de los Suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad Agronomía. Universidad de Buenos Aires, 160 p. ISBN 978-950-29-1162-5.
- Taboada, MA; OA Barbosa & DJ Cosentino. 2008. Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loamy soils. *J. Soil Sci.* 173: 130–142.
- VandenBygaart, A; R Protz; A Tomlin & J Miller. 1999. Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil Till. Res.* 51:139-149.
- Vangeli, S; FB Kraemer; M Castiglioni; C Kuc, M Cassani & C Chagas. Escurrimiento superficial en suelos con características hidro-halomórficas: efecto del avance de la agricultura. Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Río Cuarto, Córdoba. Argentina. (2016).
- Vaquero, F. 2011. Contribución de las lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) a los procesos ecosistémicos en suelos agrícolas. Trabajo Final - Licenciatura en Ciencias Biológicas. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto. pp. 45.
- Viglizzo, EF & LV Carreño *et al.* 2011. Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico. En: E.F. Viglizzo y E. Jobbágy, Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico ambiental. INTA pp: 9-16.
- Voorhees, WB & MJ Lindstrom. 1984. Long-term effects of tillage method on soil filth independent of wheel traffic compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 152–156.
- Wall, LG. 2011. The BIOSPAS Consortium: Soil Biology and Agricultural Production. En: de Bruijn FJ editor. Handbook of Molecular Microbial Ecology I. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, USA. p. 299-306.
- Wilson, M; J Oszust; C Sasal & A Paz Gonzales. 2010. Variación espacial de la resistencia mecánica a la penetración y su relación con estados estructurales del suelo bajo distintas secuencias de cultivos. En: Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACCS; 2010 May 31-04; Rosario, Arg