

ESTABILIDAD, MORFOLOGÍA Y RUGOSIDAD DE AGREGADOS DE ARGUOLES TÍPICOS SOMETIDOS A DISTINTOS USOS: SU ROL COMO INDICADORES DE CALIDAD FÍSICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

M FERNANDA ALVAREZ ^{1,2}; MARGARITA L. OSTERRIETH ²; VERÓNICA BERNAVA LABORDE ^{2,3}
& LÍA F. MONTTI ^{1,4}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

² Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, FCEyN, UNMdP, Dean Funes 3350, CC 722, Mar del Plata (7600).
mfer_alvarez@yahoo.com.ar, mosterri@mdp.edu.ar, vbernava@mdp.edu.ar

³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

⁴ Laboratorio de Ecología Funcional, Depto. de Ecología, Genética y Evolución, FCEyN, UBA, Ciudad Universitaria Pabellón II, Nuñez, Buenos Aires. liamontti@yahoo.com.ar

Recibido: 28/12/07

Aceptado: 30/09/08

RESUMEN

En los últimos diez años se observó un importante cambio en el uso de la tierra en la llanura pampeana, lo cual ha llevado a una marcada degradación de los suelos. El objetivo del trabajo fue evaluar la estabilidad, la morfología y la rugosidad de distintos tamaños de agregados como indicadores de calidad en Arguoles Típicos del sudeste bonaerense sometidos a distintos usos de suelo y a distintas intensidades de manejo. Se trabajó con el epipedón mólico de parcelas con distinto uso de suelo: cultivadas, forestadas y naturales. Los resultados mostraron mayor estabilidad en los suelos no laboreados y en los forestados de más de treinta años. En los sitios cultivados y forestados se observaron agregados alargados, cuadrangulares y esféricos, mientras que en los sitios sin laboreo no se presentaron las formas esféricas. La rugosidad de los agregados fue mayor en los suelos sin laboreo, si bien ello varió con el tamaño de los agregados. La estabilidad, morfología y rugosidad de agregados demostraron ser buenos indicadores de calidad de suelos del SE bonaerense.

Palabras clave. Epipedón mólico, caracterización de agregados, intensidad y tipo de uso, calidad de suelos.

STABILITY, MORPHOLOGY AND ROUGHNESS OF AGGREGATES OF TYPICAL ARGUOLLIS UNDER DIFFERENT TYPES OF LAND USES: THEIR ROLE AS INDICATORS OF SOILS PHYSICAL QUALITY IN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

ABSTRACT

During the last ten years, an important land use change took place in the Pampas region of Argentina. This change led to a significant soil degradation. This work aims to evaluate the stability, morphology and roughness of soil aggregates in soils under different land uses. The values found for each land use could serve as soil quality indicators in southeastern Buenos Aires. Samples were taken from mollic epipedons under cultivated, forest and natural soils. Results showed higher aggregate stability in virgin and forest soils than in cultivated soils. Aggregates were elongated, quadrangular and spherical in cultivated and forest soils. Aggregates from non-cultivated soils did not show the expected spherical forms; they also presented a high roughness although it varied across the different aggregate sizes. Soil aggregate stability, morphology and roughness were suitable indicators of soil quality in southeastern Pampas.

Key words. Epipedón mólico, aggregate characterization, intensity and type of land use, soils quality.

INTRODUCCIÓN

Los suelos pampeanos muestran una tendencia a la degradación (INTA, 1989 en Orellana & Pilatti, 1994; SAGyP-CFA 1995; Buschiazzi *et al.*, 1998; Urricariet & Lavado, 1999; Micucci & Taboada, 2006; Aparicio & Costa, 2007). En los últimos diez años se observó un

importante cambio en el uso de la tierra y la producción de cultivos (Viglizzo, 2001; Paruelo *et al.*, 2006). La expansión de la agricultura y sus modalidades de producción fueron favorecidas por factores económicos y ambientales. La intensificación del uso agrícola causó efectos negativos en los suelos pampeanos, pérdida en la ferti-

lidad, alteraciones en los procesos biológicos, disminución en el contenido de carbono orgánico, disminución en la disponibilidad de nutrientes y cambios en la estructura del suelo (Michelena *et al.*, 1989; Vázquez *et al.*, 1990; Hall *et al.*, 1992; Wilson *et al.*, 2000; Elissondo *et al.*, 2001; Steinbach & Alvarez, 2004; Colazo *et al.*, 2006; Ferreras *et al.*, 2007).

Los Argiúdoles Típicos, son originalmente suelos bien desarrollados y con buena distribución areal en el Sudeste Bonaerense, presentan colores oscuros y elevados contenidos de materia orgánica y de nutrientes. Esta particularidad los define como los suelos más fértiles del país, llevando a que sean utilizados casi exclusivamente para la producción hortícola y agrícola tradicional. Debido a esto presentan importantes pérdidas de la estructura, de la fracción coloidal orgánica e inorgánica y de la diversidad biológica (Osterrieth & Maggi, 1996; Vidal & Costa, 1998; Osterrieth *et al.*, 1998; 2001; 2002; Elissondo *et al.*, 2001; Aparicio & Costa, 2007). Por otra parte, en estos mismos suelos se han introducido especies arbóreas exóticas en forma de montes, en su mayoría pinos y eucaliptos. Los antecedentes generales en pastizales forestados con estas especies indican efectos negativos de estas plantaciones sobre el suelo: alteraciones en los ciclos hidrológicos, disminución de pH (Jobbágy *et al.*, 2006), mayor acidez intercambiable, menor saturación de bases, disminución del carbono orgánico, menor contenido de agua acumulada (Delgado *et al.*, 2006). Sin embargo, los antecedentes en la zona de estudio señalan que los suelos bajo plantaciones de más de cincuenta años de *Eucalyptus globulus* poseen características similares (estabilidad estructural, contenido de carbono) a los suelos de pradera, mientras que los suelos bajo plantaciones de menos de treinta años de *Pinus radiata*, afectan negativamente algunas de las propiedades de los mismos (Montti & Osterrieth, 2002).

Para evaluar el estado de evolución y degradación del suelo es necesario conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Algunas de estas propiedades pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad de un suelo. Es necesario para esto identificar y cuantificar las variables particulares de cada ambiente, a fin de documentar los cambios que se suceden en el corto y largo plazo, como consecuencia de las prácticas de manejo que se aplican (Gregorich *et al.*, 1997).

Dentro de las propiedades físicas la estabilidad de agregados es considerada por varios autores como la variable que mejor refleja los cambios producidos por las prácticas de manejo (Vázquez *et al.*, 1990; Orellana & Pilatti, 1994; Gregorich *et al.*, 1997; Pilatti *et al.*, 1998 citado en Elissondo *et al.*, 2001; Wilson *et al.*, 2000). Los antecedentes para Argiúdoles Típicos, particularmente en la

zona de Laguna de los Padres (General Pueyrredón, Buenos Aires) señalan bajos valores de estabilidad en sectores cultivados en relación a aquellos naturales (Scampini *et al.*, 2000; Borrelli, 2001; Montti & Osterrieth, 2002). En estos estudios se evaluó la estabilidad de agregados en cuatro rangos de tamaño (2-1,4 mm; 1,4-1 mm; 1-0,7 mm y 0,7-0,35 mm) por ser los predominantes en estos sitios. Otros indicadores adecuados son la morfología y la rugosidad superficial de los agregados de los cuales existe escasez de información acerca del efecto de distintos tipos de manejo. En algunos trabajos se menciona la presencia de las formas esféricas y escasa rugosidad de los agregados como indicadores de suelos laboreados. La presión ejercida sobre los agregados y el roce que ocurre entre ellos durante las labranzas parecen ser responsables de la alteración de la forma y rugosidad (Zobeck & Onstad, 1987; Morrás *et al.*, 1999; Alvarez *et al.*, 2005; 2006).

En virtud de los antecedentes mencionados asumimos que la estabilidad de los suelos es un buen indicador de calidad de Argiúdoles Típicos del sudeste bonaerense. Además, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Morrás *et al.* (1999) pondremos a prueba la hipótesis que también son buenos indicadores la morfología y la rugosidad de los agregados, predominando la forma esférica y una menor rugosidad en aquellas parcelas sometidas a manejo. Finalmente, se intentará responder cómo interactúan dichas variables y cómo afectan a los agregados de suelos sometidos a distintas prácticas de manejo en el sudeste bonaerense.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la estabilidad, la morfología y la rugosidad de distintos tamaños de agregados como indicadores de calidad en Argiúdoles Típicos del sudeste bonaerense sometidos a distintos usos de suelo y a distintas intensidades de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la zona de Sierra y Laguna de los Padres (37°56' S y 57°44' W), partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires (Fig. 1). En la actualidad, en el área coexisten diferentes tipos de usos y explotaciones entre las que se destacan: asentamientos urbanos, explotaciones agrícola-ganaderas extensivas e intensivas y reservas naturales.

El área de estudio se localiza dentro de la unidad geomorfológica "Relieve eólico periserrano" (Martínez, 2001). El clima de la región corresponde al tipo subhúmedo-húmedo mesotermal, con nula o poca deficiencia hídrica, según Thornthwaite presenta un módulo térmico de 13,7 °C. Siendo la mínima promedio de 8,1 °C durante el mes de junio y una máxima de 19,8 °C en enero (Cionchi *et al.*, 1982). La precipitación media anual es de 809 mm y los vientos

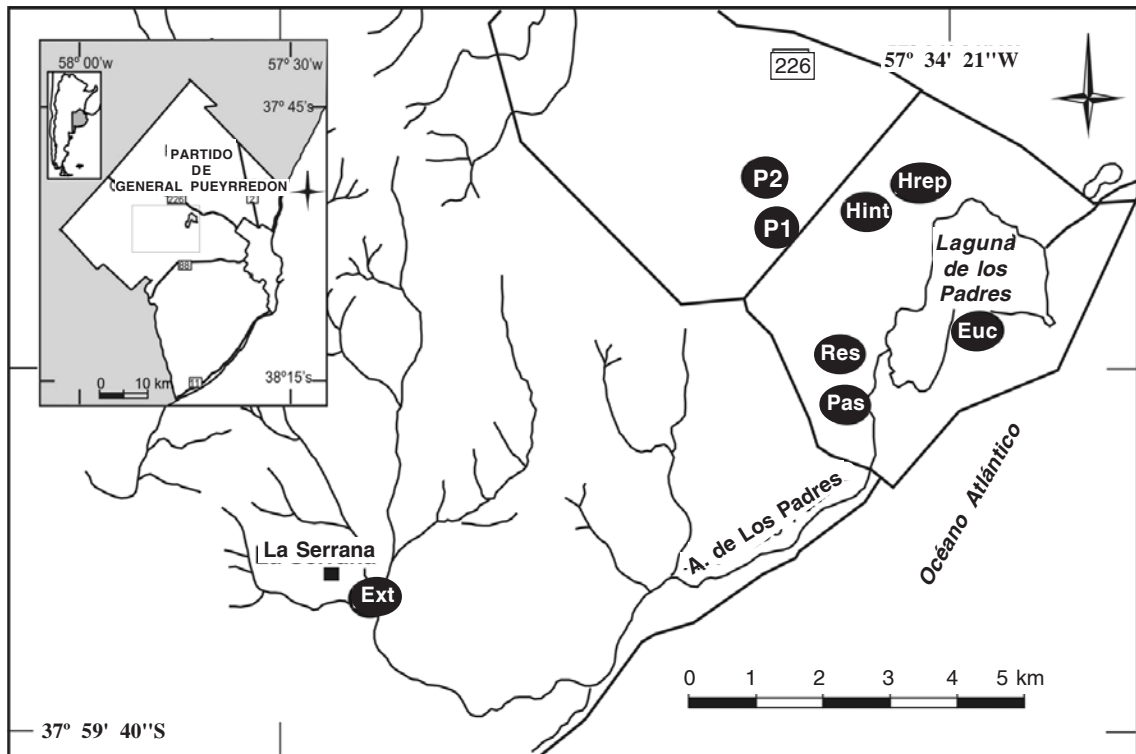


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 1. Map of the location of the studied area. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 years old *Pinus radiata* forest. P2: 30 years old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

predominantes son los provenientes del NO, N y NE. Los suelos del área pertenecen a la denominada Serie Mar del Plata 26 (INTA, 1987), una consociación dominada por Argiudoles Típicos, ubicados en los sectores más elevados de las lomas loésicas, Hapludoles Thaptoárgicos en las partes llanas y Argiudoles Ácuicos en los bajos, suelos cuyos epipedones mólicos se destacan por tener un buen desarrollo. La temperatura del suelo es de tipo México con régimen de humedad Údico.

MUESTREO

En este trabajo se analizaron los estados de agregación de los epipedones mólicos en Argiudoles Típicos de parcelas con distintos usos del suelo (Tabla 1). En cada parcela se tomó una muestra compuesta por cinco submuestras de los primeros 5 cm del horizonte A. Estas muestras compuestas fueron analizadas como se describe a continuación.

Determinación de la estabilidad de agregados por muestra

Se realizó según el método modificado de Hémin *et al.* (1972), utilizado en estudios previos para estos mismos suelos (Scampini *et al.*, 2000; Borrelli, 2001). Se tamizaron las muestras durante diez minutos, obteniéndose cuatro rangos de tamaños mayoritarios de agregados: 2-1,4 mm; 1,4-1 mm; 1-0,7 mm y 0,7-0,35 mm (Scampini *et al.*, 2000; Borrelli, 2001). Por cada uno de estos rangos se prepararon once placas de Petri conteniendo cada una, cinco grupos de diez agregados ($n=50$) por cada parcela de estudio. Se prepararon once soluciones desde agua hasta alcohol puro incrementando de a 10% el volumen de alcohol hasta llegar al 100%. Los agregados fueron saturados por las diluciones y luego de diez minutos de incubación se contaron los agregados que no presentaron estallido. Los resultados fueron expresados como el promedio del porcentaje de agregados estables de las cinco submuestras por rango.

Tabla 1. Usos de suelo en las parcelas estudiadas.

Table 1. Land use in the studied plots.

Parcela	Uso
Res	“Reserva Intangible de la Laguna de Los Padres”, con suelo nunca laboreado.
Pas	pastura natural con ganado vacuno.
HRep	sometida a prácticas hortícolas con período de reposo 1992-1994. Con tendencia al monocultivo de zanahoria.
HInt	sometida a prácticas hortícolas intensivas durante los últimos 30 años. Con rotaciones de cultivos: avena-papa, avena-zanahoria-maíz.
Ext	sometida a prácticas agrícolas extensivas durante los últimos 40 años. Con rotaciones de cultivos: trigo-maíz, trigo-soja, pasturas.
P1	plantación de pinos de 20 años. Sólo con uso de hormiguicidas, remoción y retiro del mantillo con periodicidad. Precedida por cultivo agrícola.
P2	plantación de pinos de más de 30 años. Sólo con uso de hormiguicidas, remoción y retiro del mantillo con periodicidad.
Euc	plantación de eucaliptos de más de 50 años, sin ningún tipo de control o manejo.

Identificación morfológica de los agregados

En cada rango de tamaño de agregados obtenidos del tamizado de las muestras se definieron las morfologías predominantes, asimilando lo definido por Bullock *et al.* (1985) para morfología de clastos en microestructura de suelo determinándose el porcentaje de cada una de ellas por parcela.

Determinación de la estabilidad y rugosidad por morfología de agregados

Para cada morfología definida en el punto anterior, se determinó el porcentaje de agregados estables siguiendo la metodología descrita anteriormente (n=50 agregados). Se analizó la rugosidad de agregados en cada forma (Bullock *et al.*, 1985). Para este análisis se fotografiaron las morfologías bajo lupa (7x) (n=50 agregados) y, utilizando el programa COREL-DRAW 12 (2003), se construyeron polígonos irregulares adaptados a cada forma. A partir de dichos polígonos se estableció como medida de rugosidad los puntos de intersección (PI) entre la línea del polígono y el contorno marcado en la foto de cada morfología de agregados (> n PI > rugosidad) (Fig. 2).

Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los distintos usos del suelo sobre las variables morfología, estabilidad y rugosidad de agregados en las parcelas estudiadas se realizó un análisis de componentes principales (ACP) mediante el programa PC-ORD (2004).

El ACP es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducir las a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí (Hair *et al.*, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estabilidad de agregados por muestra

Las parcelas Res (reserva) y Pas (pastura) presentaron valores de estabilidad cercanos al 100% (98-100%) (Fig. 3). Por su parte las parcelas P2 (forestada con pino de treinta años) y Euc (forestada con eucalipto) presentaron valores de estabilidad entre 80 y 100%. En la parcela P1 (forestada con pino de veinte años) se obtuvieron los porcentajes más bajos de estabilidad de 0% a 20% con las menores diluciones de alcohol. La baja estabilidad observada en esta parcela con respecto a P2 (pinos 30 años), podría deberse a que P1 estuvo precedida por cultivo agrícola con manejo convencional (Montti, 2002),

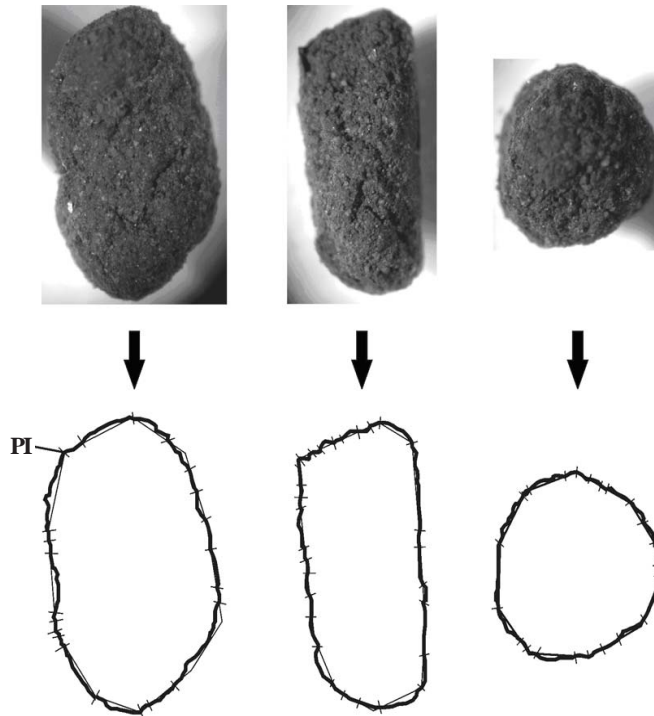


Figura 2. Determinación de los puntos de intersección (PI) como medida de rugosidad en las tres morfologías principales de agregados.

Figure 2. Determination of the intersection points (IP) as a measure of roughness in the main aggregate morphologies.

afectando esto la estabilidad estructural antes de la implantación de esta especie.

Las parcelas HInt y Ext (cultivo intensivo y extensivo) presentaron valores intermedios de estabilidad: 55 y 80%, respectivamente. A pesar de haber tenido dos años de reposo, la parcela HRep (cultivo con reposo) presentó porcentajes de agregados estables aún menores que la de cultivo intensivo (HInt) (Fig. 3), por lo que este tiempo de reposo en esta parcela pareció no ser suficiente para lograr la recuperación de la estabilidad estructural. Las diferencias de estabilidad observadas entre las parcelas hortícola intensivo y extensivo (Hint y Ext) y hortícola con reposo (Hrep), podrían estar relacionadas a las prácticas de rotaciones de cultivos realizadas en HInt y Ext; mientras que en HRep hubo una mayor recurrencia al monocultivo. Con las rotaciones se estaría incorporando materia orgánica al suelo a través del enterramiento de rastrojos, contribuyendo a una mayor estabilidad de la estructura, además de incrementar la protección vegetal del suelo disminuyendo la probabilidad de erosión (Gutiérrez *et al.*, 1993).

En todas las muestras analizadas se observó una tendencia a una menor estabilidad en los mayores rangos de tamaño de agregados (2-1,4 y 1,4-1 mm) a la misma concentración de alcohol, siendo esto más marcado en la parcela forestada con pino de 20 años (P1). Por otra parte, se observó una tendencia a una mayor estabilidad a mayor concentración de alcohol, ya que éste contrariamente al agua, no disminuye la cohesión de las partículas y permite el escape del aire sin destruir el agregado (Henin *et al.*, 1972) (Fig. 3).

La estabilidad de agregados está dada por la presencia de coloides orgánicos e inorgánicos, dentro de los orgánicos la materia orgánica juega un rol fundamental en la agregación de partículas. Varios autores (Tisdall & Oades, 1982; Santanatoglia & Fernández, 1983; Chagas *et al.*, 1995; Six *et al.*, 2000) señalan que existe una estrecha relación entre la estabilidad estructural y las formas de carbono, confirmando la acción de los compuestos orgánicos como agentes cementantes entre partículas y microagregados. Por lo cual, la alta estabilidad de agregados observada en algunas de las parcelas podría

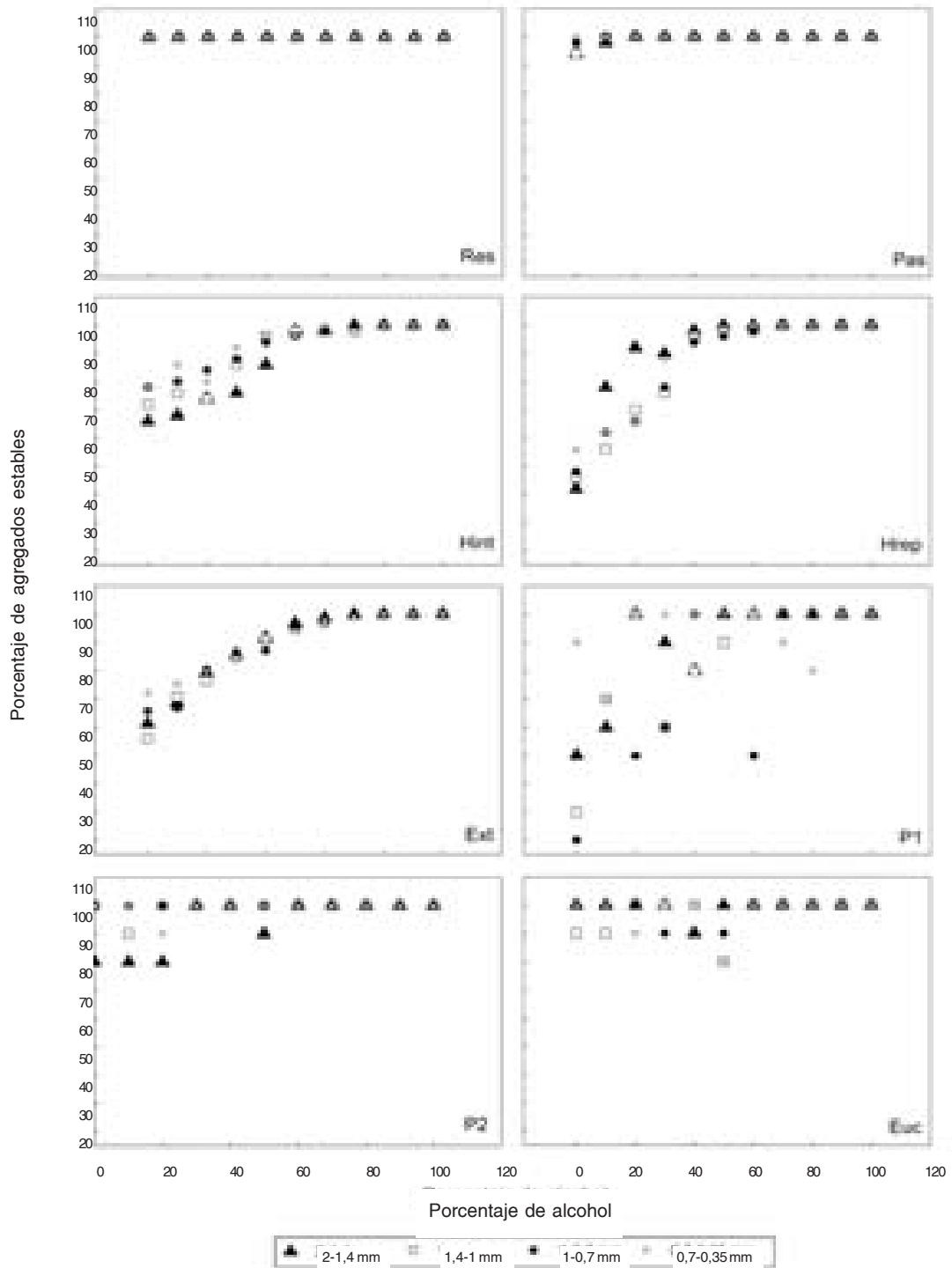


Figura 3. Estabilidad estructural medida como porcentaje de agregados estables en las parcelas estudiadas. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 3. Structural stability measured as a percentage of stables aggregates in the studied plots. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 year-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

deberse al alto contenido de materia orgánica registrado en ellas: 8,35% (Res), 10,6% (Pas), 14,86% (P2) y 18,87% (Euc) (Borrelli, 2001; Montti, 2002), mientras que la menor estabilidad coincide con bajos contenidos de materia orgánica: 5,15% en la parcela cultivada con reposo y 5,25% en la parcela con cultivo intensivo (Osterrieth & Maggi, 1996; Borrelli, 2001; Montti, 2002). A diferencia de las parcelas con cultivo hortícola, en la parcela de cultivo extensivo (con abundante rastrojo de trigo en superficie) se registró un alto contenido de materia orgánica, sin embargo, presentó bajos porcentajes de agregados estables. Con respecto a esto algunos autores (Kay & Angers, 2000 en Seguel *et al.*, 2003) señalan que los últimos productos de transformación de la materia orgánica del suelo tienen un efecto pequeño pero a largo plazo en la estabilidad de agregados. Mientras que otros autores (Gupta *et al.*, 1987; Rawitz *et al.*, 1994; Zhang & Hartge, 1995 en Seguel *et al.*, 2003) concluyen que los residuos frescos o descompuestos tienen un efecto variable sobre la estabilidad de los agregados.

Dentro de los coloides inorgánicos la arcilla influye positivamente en la formación de agregados. Si bien este aspecto no es abordado en este trabajo, la baja estabilidad observada en las parcelas hortícolas (Hrep, Hint) podría relacionarse con la probada pérdida del 50% de la fracción arcilla coloidal, preferentemente esmectitas e interestratificados irregulares illita-esmectita, detectados en los epipedones mólicos en las mismas parcelas por Osterrieth & Maggi (1996).

Morfología de agregados

En la mayoría de las parcelas estudiadas y para todos los rangos analizados se observaron tres morfologías recurrentes de agregados en orden decreciente de abundancia: alargados (35-75%), cuadrangulares (20-60%) y esféricos (1-25%) (Figs. 4 y 5). Las formas esféricas de agregados no se observaron en las parcelas con suelos no laboreados (Res y Pas). Coincidentemente con esto, Morrás *et al.* (1999) señalan que la presencia de agregados de formas esféricas en sitios con prácticas de manejo, serían consecuencia de las presiones ejercidas por el intenso laboreo.

Por otra parte, se observó una tendencia al aumento en la cantidad de estos agregados esféricos en parcelas con cultivo hortícola. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Alvarez *et al.* (2005) en la misma zona de estudio, indicando una mayor cantidad de agregados esféricos en sitios con algún tipo de manejo. A partir de estos resultados se establece una relación directa entre las parcelas con suelos laboreados y la presencia de formas esféricas de agregados. Posiblemente, este labo-

reo continuo del suelo provocaría la formación de estas morfologías a partir de las otras formas de agregados (alargados y cuadrangulares).

Estabilidad y rugosidad por morfología de agregados

Las parcelas no laboreadas (Res y Pas) presentaron un 100% de agregados estables en las morfologías alargadas y cuadrangulares y en la mayoría de los rangos de tamaño analizados, mientras que la estabilidad de agregados observada en las parcelas cultivadas y forestadas presentó valores de estabilidad entre el 78 y 100% (Tabla 2).

Para el rango 2-1,4 mm se observó una tendencia en las parcelas forestadas y con cultivo hortícola a un mayor porcentaje de agregados estables en las morfologías cuadrangulares con respecto a las alargadas y esféricas.

A partir de la determinación de la rugosidad en las tres morfologías de agregados, se observó, para los cuatro rangos de tamaño que los valores de puntos de intersección (PI), oscilaron entre $20 < PI < 45$. Morrás *et al.* (1999) señalaron que los agregados de superficie menos rugosa son consecuencia de las presiones ejercidas por el laboreo y del roce mutuo entre ellos. En el presente estudio, las parcelas cultivadas (Hint, Hrep y Ext) presentaron los menores valores de rugosidad que oscilaron entre $PI=20$ y $PI=35$, mientras que las forestadas (P1, P2 y Euc) entre $PI=20$ y $PI=40$. Por su parte las muestras provenientes de reserva (Res) y pastura (Pas) variaron entre $PI=26$ y $PI=42$. Por lo que habría una tendencia a una disminución en la rugosidad a medida que se intensifica el laboreo (Fig. 6).

Con estos resultados podría diferenciarse a través de la morfología y la rugosidad de agregados, los sitios con y sin prácticas de manejo, coincidentemente con lo mencionado por Alvarez *et al.* (2006) para estas mismas parcelas, y con Morrás *et al.* (1999) para otros suelos. Estos autores señalan una mayor rugosidad y agregados esféricos en parcelas con distintas prácticas de manejo con respecto a aquellas con suelos no laboreados.

Evaluación de las variables físicas de los agregados bajo distintos usos de suelo

En el análisis de componentes principales (ACP) se consideraron estabilidad, morfología, y rugosidad en todos los rangos de tamaño de agregados: 2-1,4 mm, 1,4-1 mm, 1-0,7 mm, 0,7-0,35 mm. Para los cuatro rangos se obtuvo un grupo formado por las muestras de las parcelas con alta y baja intensidad de manejo (cultivadas: HInt, HRep, Ext, y forestadas: P1, P2, Euc), y otro formado por la parcela natural (Res) y con manejo mínimo (Pas) (Fig. 7), quedando

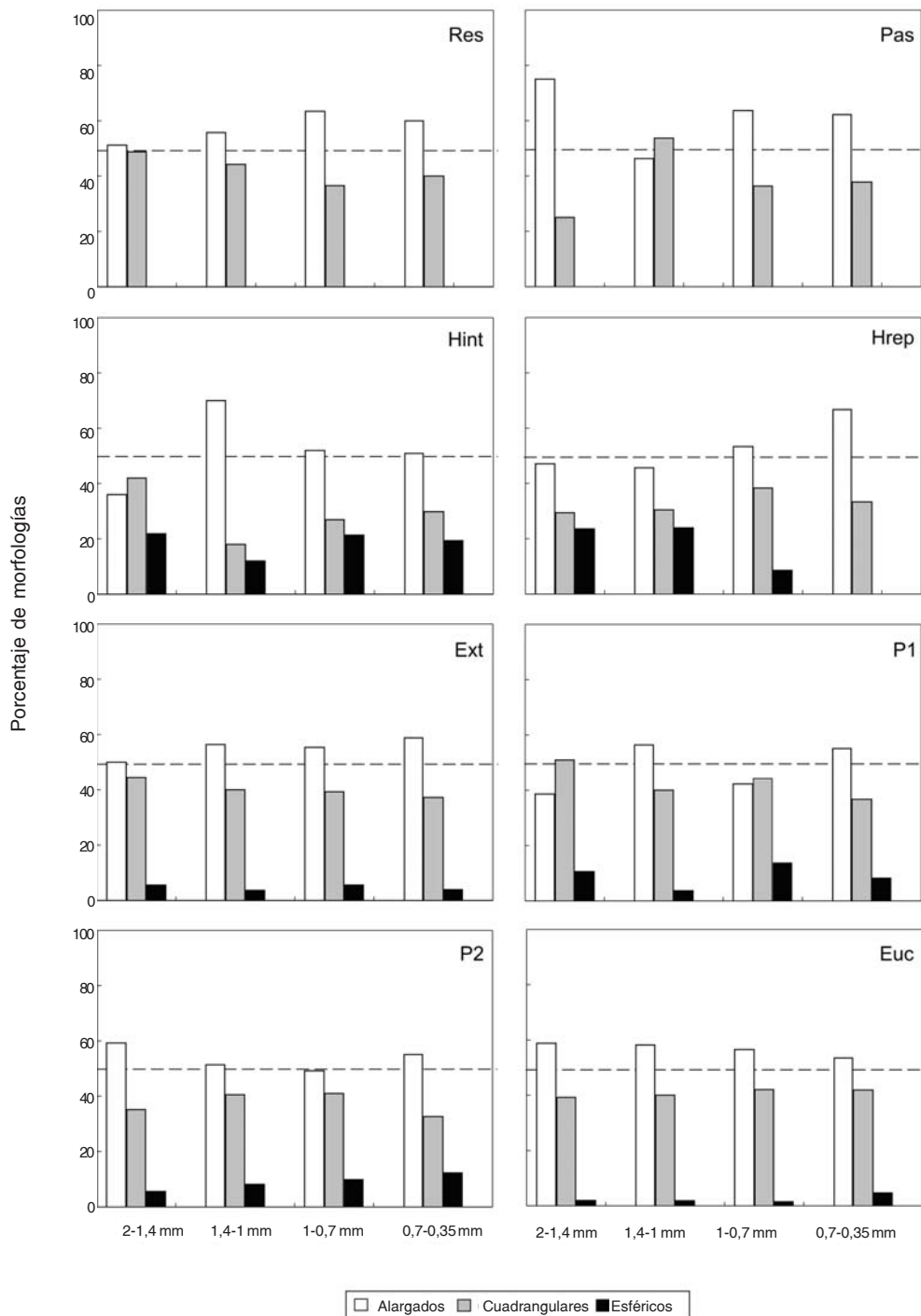


Figura 4. Porcentaje de morfologías de agregados por rango de tamaño en las parcelas estudiadas. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 4. Percentage of aggregate morphologies for each size category in the studied plots. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 year-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

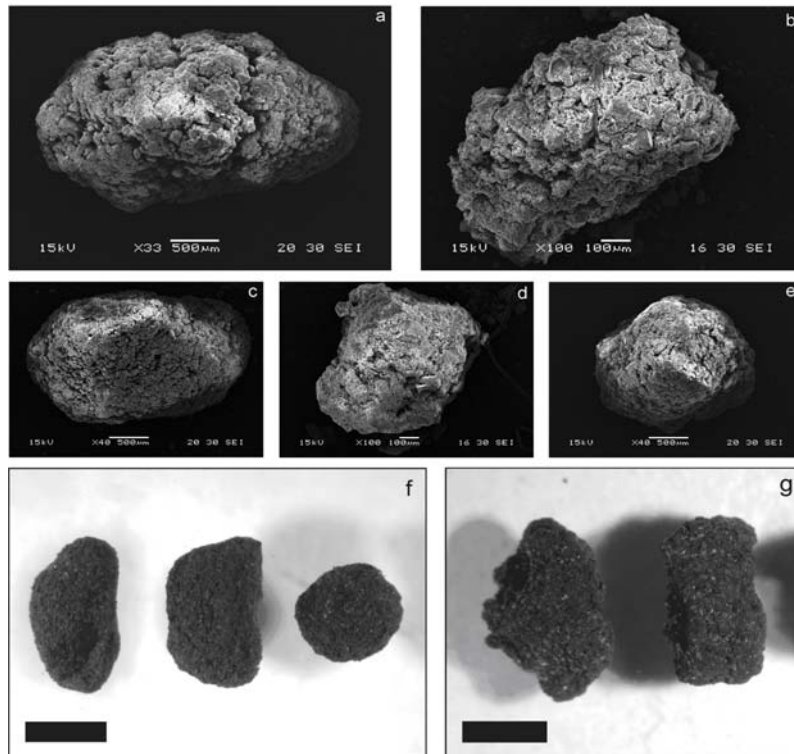


Figura 5. Microfotografías de agregados en las parcelas estudiadas. Morfologías alargadas y cuadrangulares observadas en Res y Pas (a, b, g). Morfologías alargadas, cuadrangulares y esféricas encontradas en Hint, Hrep, Ext, P1, P2 y Euc (c, d, e, f). Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 5. Microscopic images of the aggregates in the studied plots. Elongated and quadrangular morphologies are observed in Res and Pas (a, b, g). Elongated, quadrangular and spherical morphologies are observed in Hint, Hrep, E, P1, P2 y Euc (c, d, e, f). Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 year-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

Tabla 2. Estabilidad estructural en cada morfología de agregados, medida como porcentaje de agregados estables en las parcelas estudiadas. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*. A: alargados. C: cuadrangulares. E: esféricos.

Table 2. Structural stability in the aggregate morphologies measured as a percentage of stable aggregates in the studied plots. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 years old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest. A: elongated. C: quadrangular. E: spherical.

Parcelas	2-1,4 mm			1,4-1 mm			1-0,7 mm			0,7-0,35 mm		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E	A	C	E
Res	100	100	0	100	100	0	100	100	0	100	100	0
Pas	100	100	0	100	98,2	0	100	100	0	100	100	0
Hint	85,45	90	87,3	93,64	9,91	93,64	93,64	96,36	100	97,27	97,27	99,1
Hrep	82,73	85,45	82,73	92,73	92,73	88,2	95,45	95,45	94,55	96,36	94,55	96,36
Ext	83,64	81,82	78,2	85,45	85,45	85,45	83,64	92,73	92,73	94,55	94,55	96,36
P1	89,1	90,91	82,3	98,2	96,36	90,91	94,55	98,2	94,55	98,2	98,2	98,2
P2	90,91	90,91	85,45	90,91	90,91	90,91	100	92,73	90,91	94,55	94,55	94,55
Euc	98,2	100	94,55	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	96,36	100	98,2

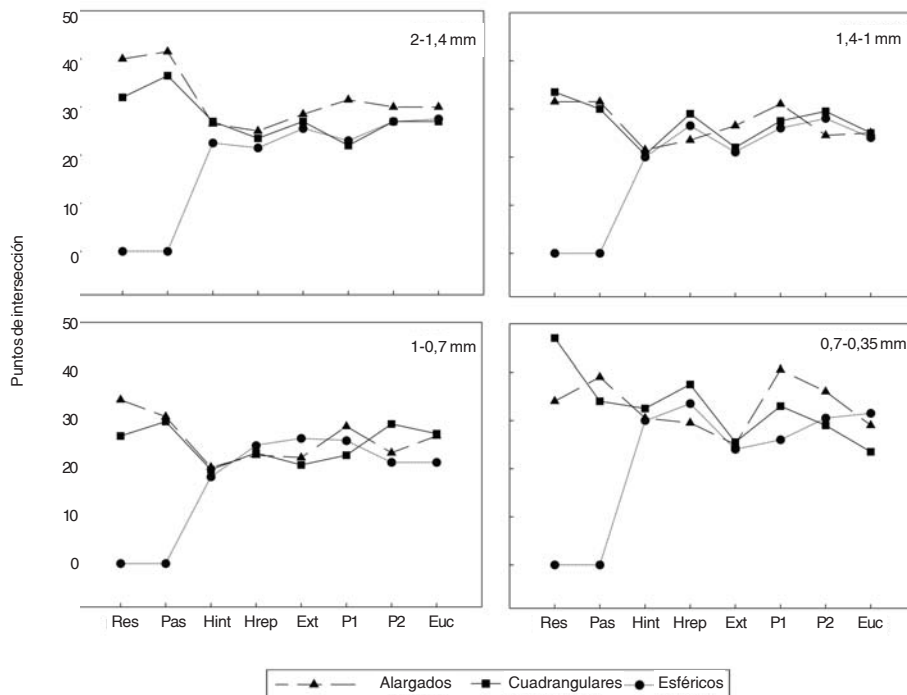


Figura 6. Puntos de intersección (PI) como medida de rugosidad para cada rango de tamaño en las principales morfologías de agregados de las parcelas estudiadas. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 6. Intersection points (IP) as a measure of roughness by size in the main aggregate morphologies of the studied plots. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 year-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest

explicada la variación con dos ejes en todos los casos (Tabla 3). Las parcelas de reserva y pastura quedan agrupadas por su semejanza en la cantidad, estabilidad y rugosidad de agregados cuadrangulares, en el rango 1,4-1 mm. Mientras que en el resto de los rangos estas parcelas se agrupan por valores similares de estabilidad y rugosidad de agregados alargados y cuadrangulares. Por su parte, las parcelas cultivadas y forestadas se agrupan por la mayor cantidad de agregados esféricos y por los menores valores de rugosidad de los mismos en todos los rangos de tamaño estudiados (Fig. 7). Debido a que este último grupo está fuertemente influenciado por la presencia de agregados esféricos, ausentes en las parcelas de reserva y pastura, se decidió efectuar el ACP sin estas morfologías, de manera de corroborar si dicho agrupamiento está condicionado por la rugosidad de los agregados esféricos o si ésta enmascara la influencia de las otras variables.

Así el ordenamiento de las muestras sin considerar la morfología esférica y centrando el análisis en el eje uno

(Tabla 4), arrojó como resultado un grupo formado por las parcelas natural (Res: reserva), y con baja intensidad de manejo (Pas: pastura, Euc: forestada con eucalipto), las cuales comparten los mayores valores de estabilidad y rugosidad de agregados alargados y cuadrangulares, como así también la mayor cantidad de estos últimos (Fig. 8). Un caso particular se presentó en el menor rango de tamaño donde al grupo mencionado se le suma la parcela forestada con pino de 20 años (P1) compartiendo además de las características mencionadas altos valores en la cantidad de agregados alargados. El resto de las parcelas con manejo se comportó de manera diferente en comparación con el análisis anterior, donde se incluía la morfología esférica, confirmando que la presencia de los agregados esféricos enmascara la influencia de las demás variables estudiadas. Para los mayores rangos de tamaño, mientras que las parcelas cultivadas (HInt, HRep, Ext) y forestada con pino de 20 años (P1), se agrupan por la menor cantidad de agregados de morfología cuadrangular, la parcela forestada con pino de 30 años (P2) no

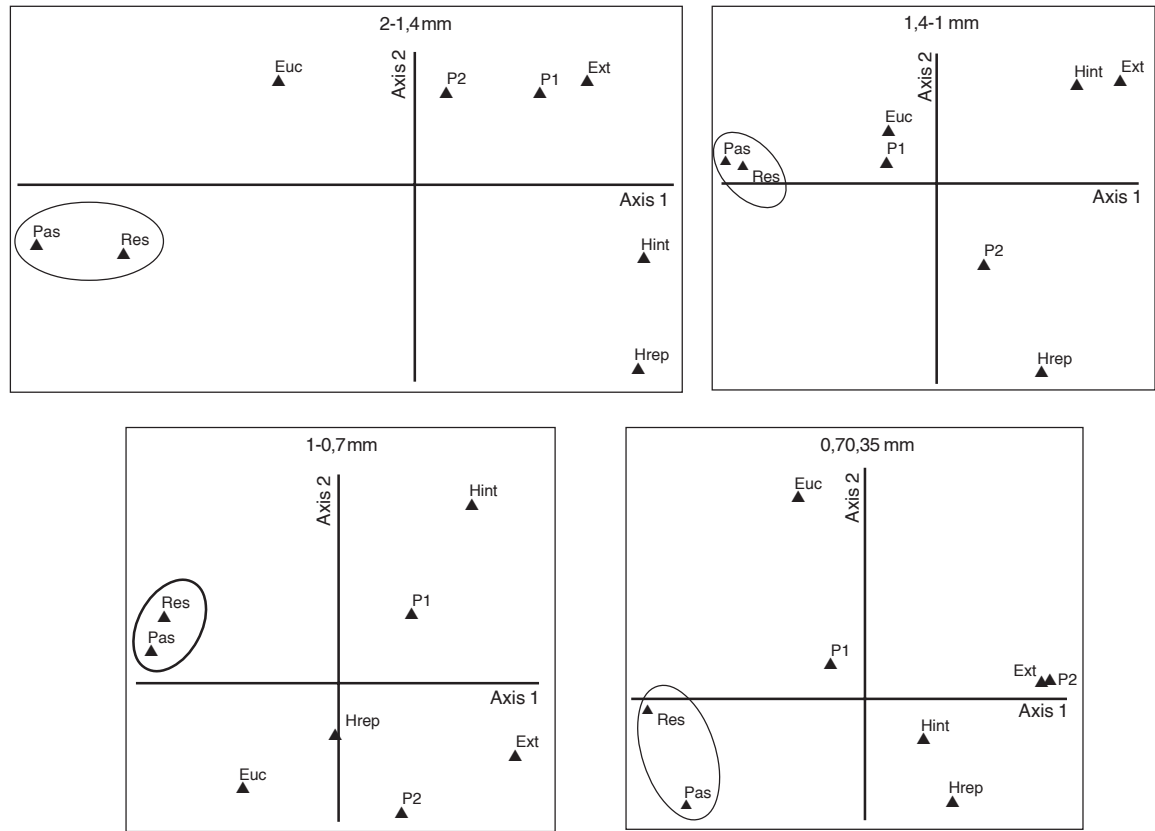


Figura 7. Análisis de Componentes Principales (ACP) en todos los rangos de tamaño de agregados, considerando todas las morfologías de agregados. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.
 Figure 7. Principal component analysis (PCA) in the size of aggregates all rank for the three aggregates morphologies. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 years-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

Tabla 3. Valores de la varianza en el ACP para cada rango de tamaño considerando todas las morfologías de agregados.

Table 3. PCA variance values for each size category considering all the aggregate morphologies. r: roughness, e: stability, m: morphology.

	AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Cum.% of Var	Broken-stick Eigenvalue
2-1,4 mm	1	6,095	67,717	67,717	2,829
	2	1,183	13,150	80,866	1,829
1,4-1 mm	1	4,341	48,237	48,237	2,829
	2	1,921	21,347	69,583	1,829
1-0,7 mm	1	4,156	46,182	46,182	2,829
	2	2,345	26,053	72,235	1,829
0,7-0,35 mm	1	3,930	43,670	43,670	2,829
	2	1,583	17,586	61,256	1,829

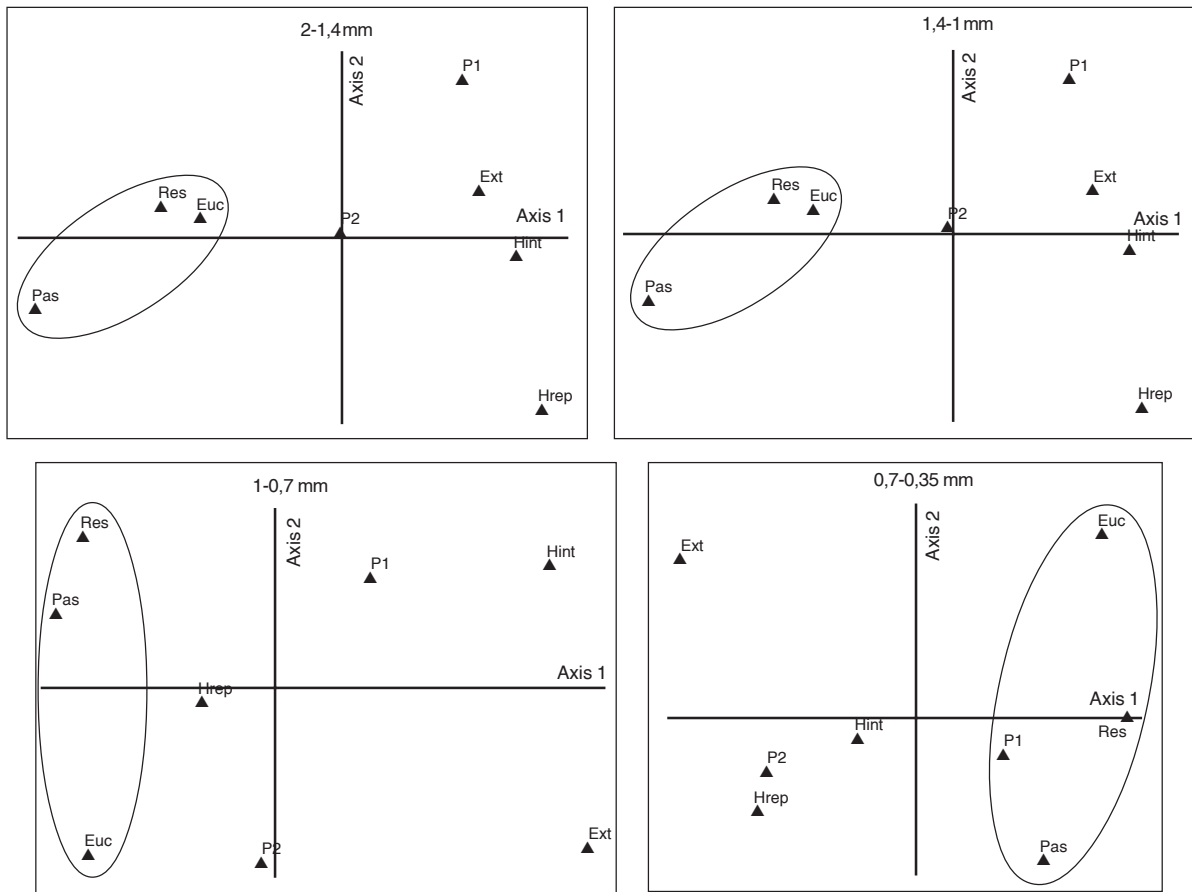


Figura 8. Análisis de Componentes Principales (ACP) en todos los rangos de tamaño de agregados, sin considerar las formas esféricas. Res: reserva. Pas: pastura. Hint: hortícola intensivo. Hrep: hortícola reposo. Ext: agrícola extensivo. P1: forestada con *Pinus radiata* de 20 años. P2: forestada con *Pinus radiata* de 30 años. Euc: forestada con *Eucalyptus globulus*.

Figure 8. Principal component analysis (PCA) in all the aggregate size categories, without the spherical morphology. Res: reserve. Pas: pasture. Hint: crop intensive. Hrep: fallow. Ext: agricultural extensive. P1: 20 year-old *Pinus radiata* forest. P2: 30 year-old *Pinus radiata* forest. Euc: *Eucalyptus globulus* forest.

Tabla 4. Valores de la varianza en el ACP para cada rango de tamaño sin considerar la morfología de agregados esféricos.

Table 4. PCA variance values for each size category without considering the spherical aggregate morphology. r: roughness, e: stability, m: morphology.

	AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Cum.% of Var	Broken-stick Eigenvalue
2-1,4 mm	1	3,946	65,758	65,758	2,450
1,4-1 mm	1	3,946	65,758	65,758	2,450
1-0,7 mm	1	2,953	49,219	49,219	2,450
0,7-0,35 mm	1	2,866	47,771	47,771	2,450

sólo se separa de éstas, sino que en dichos tamaños de agregados no manifiesta influencia alguna de las variables estudiadas. Para el caso de los rangos de menor tamaño estas parcelas no evidenciaron asociación.

Teniendo en cuenta estos resultados la cantidad y la rugosidad de agregados esféricos se asocian a las parcelas con distintas prácticas de manejo (Hint, Hrep, E, P1, P2 y Euc) en todos los rangos de tamaño de agregados. A la vez que una alta estabilidad y rugosidad de agregados se asocia a suelos naturales (Res) o a suelos con baja intensidad de manejo (Pas y Euc) en la mayoría de los rangos estudiados. En el análisis sin considerar las morfologías esféricas se manifiesta la influencia del tamaño de los agregados, siendo los rangos mayores los más sensibles al manejo, ya que en estos se observó el agrupamiento de las parcelas cultivadas y con forestación (F1).

CONCLUSIONES

La morfología, estabilidad y rugosidad de los agregados varían según el tamaño de agregados y según las distintas prácticas de manejo.

La morfología esférica, asociada a una baja rugosidad, es indicadora de degradación en todos los rangos de tamaños estudiados, ya que sólo se encuentra en las parcelas laboreadas. Por su parte las morfologías alargada y cuadrangular con máxima rugosidad, son predominantes en los suelos no laboreados siendo indicadoras de una mejor calidad de los suelos. Se encontró una asociación directa, estadísticamente probada, entre estabilidad y rugosidad en todas las morfologías de agregados estudiadas.

Si bien, hasta ahora la estabilidad de agregados era considerada como la variable que mejor reflejaba los cambios producidos por las prácticas de manejo, los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que la morfología y la rugosidad de agregados, también podrían ser incluidos como indicadores físicos de calidad de Argüdoles típicos del sudeste bonaerense, sometidos a distintas intensidades de uso agrohortícola.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco de los Proyectos BID 1201/OC-AR-PICTR 2003-439, BID 1728/OC-AR-PICTR 2006-1700 y EXA 15/E 239. Los autores desean agradecer a la MSc. Juliana Bó por la realización del mapa de ubicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, MF; LF Montti & ML Osterrieth. 2005. Morfología y estabilidad de agregados en Argüdoles típicos bajo distinto tipo de uso. *En: XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata, Buenos Aires. Pp.137.
- Alvarez, MF; LF Montti; ML Osterrieth & JL Del Rio. 2006. Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados como indicadores de calidad de suelo en el sudeste bonaerense, Argentina [2] Pp.25-33. *En: Juan F. Gallardo Lancho (ed.). Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI*. Tomo II. Badajoz, España. 793 pp.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping system in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165.
- Borrelli, NL. 2001. Minerales, biominerales y su relación con las propiedades físico-químicas de Argüdoles Típicos afectados por prácticas agrícolas en Laguna de Los Padres, Buenos Aires. Tesis de grado. FCEyN, UNMdP.
- Bullock, P; N Fedoroff; A Jongerious; G Stoops; T Tursina & U Babel. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Volverhampton. 150 pp.
- Buschiazzo, DE; JL Panigatti & PW Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Chagas; CI; OJ Santanoglia & MG Castiglioni. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of a Argüdoll in Argentine. *Commun. Soil Science Plant Anal.* 25: 643-655.
- Cionchi, JL; EJ Schnack; J Álvarez; E Bocanegra; JE Bogliano & JL del Río. 1982. Caracterización hidrogeológica y físico-ambiental preliminar de la Laguna de Los Padres, Partido de Gral. Pueyrredón, Provincia de Buenos Aires. Convenio M.G.P.-U.N.M.D.P., Informe inédito, Mar del Plata, 44 pp.
- Colazo, JC; P Blanco; A Becker; P Bouza; H Del Valle; C Quintero; G Boschetti; J De Dios Herrero; M Osterrieth; MF Alvarez; N Borrelli & DE Buschiazzo. 2006. Estabilidad estructural en suelos de la Argentina. *En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta-Jujuy, Argentina. pág. 120.
- De Leenheer, L & M De Boodt. 1954. Discussion on the aggregate analysis of soils by wet sieving. *Acts V International Congress of Soil Science II*: 111-117.
- Delgado, S; F Alliaume; F García Préchac & J Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia X* (2): 95-107.
- Elissondo E; JL Costa; E Suero; LP Fabrizzi & F García. 2001. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo luego de la introducción de labranzas verticales en un suelo bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19(1): 11.
- Ferreras, L; G Magra; P Besson; E Kovalevski & F García. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2): 159-172.
- Gregorich, EG; MR Carter; JW Doran; CE Pankhurst & LMDwyer. 1997. Biological attributes of soil quality. Pp. 81-113. *In: EG Gregorich; MR Carter (eds). Soil quality for crop production and ecosystem health*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.

- Gupta, SC; EC Schneider; WE Larson & A Hadas. 1987. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:207-212.
- Gutierrez N; R Gutierrez; C Venialgo & J Petcoff. 1993. Efectos de diferentes sistemas de labranza y de cultivos sobre el K, Ca y Mg en un Natrustol típico. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos: en Memorias De La Segunda Reunión Bienal De La Red Latinoamericana De Labranza Conservacionista. Ildefonso Pla Santís y Francisco Ovalles. Guanare, Acarigua-Venezuela.
- Hair, Jr. JF; RE Anderson; RL Tatham & WC Black. 1995. Multivariate data analysis with readings. 529 p. D. Borkowsky (ed). Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- Hall AJ; CM Rebella; CM Ghersa & J Cullot. 1992. Field-crops system of Pampas. Pp. 413-450. In: CJ Pearson (ed). Ecosystem of the world. Field Crops Ecosystem. Elsevier Scientific, Amsterdam-London-New Cork-Tokyo.
- Hénin, S; R Gras & G Monnier. 1972. La estabilidad estructural. Pp. 125-158. En: El estado físico del suelo y sus consecuencias agrónomicas. (Ed) Mundi-Prensa. Madrid, España. 342 pp.
- INTA. 1987. Unidad de Recursos de Suelos: Mapa geomorfológico y de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:50.000. Castelar.
- INTA. 1989. Degradación de los suelos por intensificación de la agricultura. Informe del taller organizado por CONICET. Rafaela. 185 p.
- Jobbágy, EG; M Vasallo; KA Farley; G Piñeiro; MF Garsbulsky; MD Nosetto; RB Jakson & JM Paruelo. 2006. Forestación en pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia X* (2): 109-124.
- Kay, BD & DA Angers. 2000. Soil structure. p. 229-276. In: M Sumner (ed.). Handbook of Soil science. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.
- Martínez, GA. 2001. La influencia de un paisaje heredado sobre el escurrimiento superficial en la Región Pampeana. Pp. 47-55. En: Liliana Teruggi (ed.) Workshop Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial Necochea, Buenos Aires. 163 pp.
- Michelena, RO; CB. Irurtia; FA Vavruska; R Mon & A Pitaluga. 1989. Degradación de suelos del Norte de la Región Pampeana. Publicación Técnica 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Micucci, F & MA Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 86: 152-162.
- Montti, LF. 2002. Efecto de las plantaciones de pinos y eucaliptus sobre las propiedades morfológicas físicas y químicas de los Argiudoles Típicos en Sierra de los Padres, Bs. As. Tesis de grado. FCEyN, UNMdP.
- Montti, LF & M Osterrieth. 2002. Efecto de las plantaciones de pinos y eucaliptus sobre las propiedades físicas-químicas de Argiudoles Típicos (Sierra de los Padres, Bs. As.). Actas del XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Argentina. pág 60.
- Morrás, H; E Leyva & G Píccolo. 1999. Modificaciones de la morfología y porosidad de agregados en un Ultisol bajo diferentes tratamientos culturales (Misiones, Argentina). 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile. En CD.
- Orellana, J & M Pilatti. 1984. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Osterrieth, ML & J Maggi. 1996. Variaciones cuali-cuantitativas de la fracción arcilla en Argiudoles afectados por prácticas agrícolas en Laguna de Los Padres. Buenos Aires. VI Reunión Argentina de Sedimentología 337-342.
- Osterrieth, ML; C Fernández; Y Bilat; P Martínez; G Martínez & M Trassens. 1998. Geoecología de Argiudoles Típicos afectados por prácticas hortícolas en la llanura pampeana. Buenos Aires, Argentina. XVI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Montpellier, Francia. SIMP. 32. CD: 1-8.
- Osterrieth, ML; N Borrelli; P Martínez; N García Calderón; E Scampini; M Trassens; V Bernava & K Miglioranza. 2001. Geoecología y degradación de Argiudoles Típicos afectados por prácticas hortícolas, Buenos Aires, Argentina. III Reunión Argentina de Geología Ambiental y Ordenamiento del territorio. pág. 39.
- Osterrieth, ML; L Teruggi & B Ceccanti. 2002. Caracterización de la macroporosidad mediante analizador óptico-electrónico de imágenes en Argiudoles sometidos a prácticas hortícolas. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo CD: 6 pp.
- Paruelo, JM; JP Guerschman; G Piñeiro; EG Jobbágy; SR Verón; G Baldi & S Baeza. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia X*(2): 47-61.
- Rawitz, EA; A Hadas; H Etkin & M Margolin. 1994. Short-term variations of soil physical properties as a function of the amounts and C/N ratio of decomposing cotton residues. II. Soil compressibility, water retention and hydraulic conductivity. *Soil Till. Res.* 32: 199-212.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) y el Consejo Federal Agropecuario (CFA). 1995. El Deterioro de la Tierras en la República Argentina. Alerta Amarillo. 287 pp.
- Santanatoglia, OJ & NR Fernández. 1983. Estabilidad estructural y contenido de gomas microbianas bajo distintos tipos de manejo, en suelos de la Serie Ramallo (Argiudol Vértico). *Ciencia del Suelo* 1: 43-49.
- Seguel S; V García de Cortázar & M Casanova. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agric. Téc.* 63(3): 287-297.
- Scampini, E; ML Osterrieth & P Martínez. 2000. Relación entre propiedades físico-químicas y mesofauna asociada de una bordura en Argiudoles de la Llanura Pampeana. *Neotropica* 44(111-112): 3-12.
- Six, J; ET Elliot & K Paustian. 2000. Soil macroaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 2099-2103.
- Steinbach, H.S. & R. Álvarez. 2004. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana?. *Informaciones Agronómicas* 33: 7-12.

- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Urricariet, S & RS Lavado. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 17: 37-44.
- Vázquez, ME; LA Berasategui; ER Chamorro; LA Taquini & LA Barberis. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera pampeana. *Ciencia del suelo* 8: 203-210.
- Vidal, C & JL Costa. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Villa Carlos Paz. Pg. 211.
- Viglizzo, EF; FLértora; AJ Pordomingo; JN Bernardos; ZE Roberto & H Del Valle. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture Ecosystem and Environment* 83: 65-81.
- Wilson, MG; CE Quintero; NG Boschetti; RA Benavides & WA Mancuso. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Rev. Fac. Agr. UNER* 20(1): 23-30.
- Zhang, HQ & KH Hartge. 1995. Mechanical properties of soils as influenced by the incorporation of organic matter. p. 93-108. In: KH Hartge & BA Stewart (eds.). *Soil structure. Its development and function*. Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida, USA.
- Zobeck, TM & CA Onstad. 1987. Tillage and rainfall effects on random roughness: a review. *Soil Tillage Res.* 9: 1-20.